



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento

Ano 2014

**Daniela Almeida
Varandas**

**Efeitos dos fogos florestais repetidos na
exportação de nutrientes**



**Daniela Almeida
Varandas**

Efeitos dos fogos florestais repetidos na exportação de nutrientes

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Celeste de Oliveira Alves Coelho, professora catedrática e co-orientação do Doutor Jan Jacob Keizer investigador do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Tese desenvolvida no âmbito do projeto CASCADE “CASCADE- CAstastrophic Shifts in drylands: how CAn we prevent ecosystem DEgradation?” (Grant Agreement 283068), financiado pela União Europeia através do Sétimo Programa Quadro, Tema ENV.2011.2.1.4-2.

“ Põe o coração ao largo.”

o júri

presidente

Prof.^a Doutora Ana Paula Duarte Gomes

Prof.^a Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da
Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António José Dinis Ferreira

Prof. Adjunto do Departamento de Ambiente da Escola Superior Agrária
de Coimbra

Prof.^a Doutora Celeste de Oliveira Alves Coelho

Prof.^a Catedrática do Departamento de Ambiente e Ordenamento da
Universidade de Aveiro

agradecimentos

Começo por agradecer à minha família sem a qual não teria chegado onde cheguei. Obrigado por me terem sempre apoiado neste meu percurso académico.

O meu obrigado muito especial ao José por todo o apoio a todas as horas e de todas as formas. Agradeço a paciência, a força, o espírito crítico, o bom senso, o bom humor e todo o carinho.

Obrigado a todos os membros da equipa do CASCADE e aos que de várias formas me ajudaram no decorrer do trabalho de laboratório, de campo e na escrita. Em especial agradeço ao Óscar e ao Mohammad por o apoio incondicional e o conhecimento que me transmitiram. Muito obrigado à Ana Isabel por todas as horas de laboratório, conselhos, paciência e apoio que me prestou.

Agradeço aos meus orientadores Professora Celeste Coelho e Doutor Jan Jacob Keizer pela orientação, paciência e por acreditarem em mim.

Agradeço ainda aos meus amigos, colegas e companheiros que me apoiaram com palavras de conforto, momentos de alegria e que me deram muita força para acabar esta etapa da minha vida.

palavras-chave

Incêndios florestais (repetidos), pinhal, escurrência, exportação de nutrientes, azoto total, fósforo total.

resumo

Num período de 9 meses após o incêndio que deflagrou no verão de 2012, foi estudada a mobilização de nutrientes nas suas formas totais (azoto total e fósforo total) por escurrência. O estudo foi feito à escala de microparcela numa área pertencente ao concelho de Viseu, que foi escolhida por ter sofrido incêndios não só em 2012 mas também em 1978, 1985, 2005. Na área de estudo a vegetação dominante é pinhal (*Pinus pinaster*), com *Pterospartum tridentatum* como elemento predominante na camada arbustiva. O desenho experimental na área de estudo baseou-se na escolha de 6 encostas, onde 3 sofreram quatro incêndios e 3 encostas que apenas sofreram um incêndio num período de 30 anos. Em seguida foram instaladas 6 microparcels emparelhadas duas a duas ao longo de cada encosta, topo, meio e base. Durante o período de estudo foram recolhidas 522 amostras de escurrência. As concentrações totais de azoto (N) e fósforo (P) destas amostras foram determinadas por um método colorimétrico integrado num sistema por injeção em fluxo. Os resultados mostraram que é na área queimada quatro vezes onde as perdas de azoto total (NT) e fósforo total (PT) foram maiores, em comparação com a área queimada uma vez. No caso do NT as perdas totais encontradas nas amostras de escurrência foram de 14,2 g/m² vs 1,9 g/m² no total do período de estudo, enquanto que para o PT as perdas totais 2,1 vs 0,5 g/m².

keywords

Repeated forest fires, pinewood, runoff, nutrient export, total nitrogen, total phosphorus.

abstract

Total nutrient mobilization by runoff (total nitrogen and total phosphorus) was studied for 9 months after a summer forest fire in 2012. The study was settled at a scale of microplot. The studied area (Viseu municipality) was chosen due to the exposure to repeated forest fires also in 1978, 1985, 2005. The dominant vegetation was *Pinus pinaster* and *Pterospartum tridentatum* as the predominant element in the shrub layer. The experimental area design was based on the choice of 6 slopes: 3 experienced four fires and 3 experienced only one fire over a period of 30 years. Six paired microplots were installed along each side of the slope, its top, middle and base. During the experience period 522 runoff samples were collected. Total nitrogen and total phosphorus concentration were determined by a colorimetric method integrated into a flow injection system. The results revealed that four times burned area presented higher total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) losses than 1 time burned area. The total runoff losses found were 14,2 g/m² vs 1,9 g/m² for NT and 2,1 vs 0,5 g/m² for PT.

Índice

Índice de Figuras	ii
Índice de Tabelas	iii
Notação	iv
Lista de abreviaturas	v
Nomenclatura química	vi
1 Introdução	1
1.1 Objetivos e estrutura da dissertação	3
1.2 Enquadramento.....	4
1.3 Ciclo de nutrientes	6
1.4 Impactos dos incêndios florestais no ciclo de nutrientes.....	10
2 Efeitos dos fogos florestais repetidos na exportação de nutrientes por escorrência	13
2.1 Resumo.....	15
2.2 Abstract	16
2.3 Introdução	16
2.4 Área de estudo.....	18
2.5 Materiais e Métodos.....	20
2.5.1 Desenho experimental.....	20
2.5.2 Recolha e análise laboratorial das amostras	22
2.6 Resultados e discussão	23
2.6.1 Variação temporal da mobilização dos nutrientes.....	23
2.6.2 Variação espacial da mobilização de nutrientes	34
2.7 Conclusões	38
3 Considerações finais	39
Referências bibliográficas	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Historial de ocorrências de incêndios e área ardida (ha) entre 1980-2000 (ICNF, s.d.) ...	5
Figura 2 - Esquematização do ciclo dos nutrientes no ecossistema florestal (Attiwill e Adams, 1993)	8
Figura 3 - Mapa da área de estudo	19
Figura 4 - Microparcels numa encosta da área de estudo.....	21
Figura 5 - Microparcels com presença e ausência de arbusto	21
Figura 6 - Evolução temporal da concentração de NT.....	25
Figura 7 - Evolução temporal da concentração de PT	26
Figura 8 - Evolução temporal das perdas de NT	27
Figura 9 - Evolução temporal das perdas de PT.....	28
Figura 10 - Evolução temporal da precipitação e perdas de NT.....	29
Figura 11 - Evolução temporal da precipitação e perdas de PT	30
Figura 12 - Evolução temporal das perdas de sedimentos e precipitação	31
Figura 13 – Evolução temporal da escorrência e precipitação	33
Figura 14 - Evolução temporal da intensidade máxima em 30 minutos e da precipitação.....	33
Figura 15 – Perdas totais de NT nas microparcels com ou sem presença de arbusto nas diferentes áreas de estudo	35
Figura 16 – Perdas totais de PT nas microparcels com ou sem presença de arbusto nas diferentes áreas de estudo	36
Figura 17 – Perdas totais de sedimentos nas microparcels com ou sem presença de arbusto nas diferentes áreas de estudo.....	37

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Efeitos diretos e indiretos da severidade no ciclo de nutriente numa área florestal	10
Tabela 2 - Características das encostas da área multi-fogos	19
Tabela 3 - Características das encostas da área uni-fogo	20
Tabela 4 - Escorrência superficial e mobilização de nutrientes e sedimentos nas áreas multi-fogos e uni-fogo durante os primeiro nove meses após um incêndio florestal em 2012.....	24

NOTAÇÃO

A_{parcela}	Área da parcela	[m ²]
I_{30}	Intensidade de precipitação em 30 min	[mm/h]
m_i	Massa mobilizada do nutriente i	[mg/L]
$V_{\text{escorrência}}$	Volume de escorrência	[L]

LISTA DE ABREVIATURAS

ADN	Ácido desoxirribonucleico
ADP	Difosfato de adenosina
ATP	Trifosfato de adenosina
ISO	Organização Internacional para Padronização
N	Azoto
P	Fósforo
NT	Azoto total
PT	Fósforo total
SST	Sólidos suspensos totais

NOMENCLATURA QUÍMICA

N	Azoto
N ₂	Azoto molecular
N ₂ O	Óxido nitroso
NH ₃	Amoníaco
NH ₄ ⁺	Amónia
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO	Óxido nítrico
NO ₃ ⁻	Nitrato
O ₂	Oxigénio molecular
P	Fósforo
PO ₄ ³⁻	Fosfato

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

É objetivo desta dissertação avaliar os efeitos dos fogos florestais repetidos na exportação de nutrientes, nomeadamente azoto e fósforo. O estudo foi realizado numa área, recentemente ardida de pinhal, localizada no centro norte de Portugal. A avaliação foi feita à escala de microparcela com base na análise laboratorial de amostras de escorrência.

De forma mais específica, pretende-se:

- avaliar de que forma a frequência de fogos altera as possíveis perdas de nutrientes (N,P) por escorrência.
- analisar se as perdas de nutrientes em microparcels variam, com a presença ou ausência de um arbusto rebrotador.
- analisar as relações entre as perdas de nutrientes e possíveis parâmetros explicativos como a escorrência, precipitação e perda de sedimentos.

A dissertação é estruturada em três capítulos. Tem o seu início no presente capítulo onde se faz um enquadramento, não esquecendo uma abordagem sobre a importância e motivações que levaram à realização deste estudo. É também feita uma breve introdução sobre o ciclo dos nutrientes e vários estudos sobre a exportação de nutrientes. No segundo capítulo, que se encontra em formato de artigo científico, inclui a descrição da área em estudo, os materiais e métodos subjacentes à recolha de amostras, análises laboratoriais e de dados, ainda integra os resultados obtidos e a discussão e conclusões dos mesmos. O término da presente dissertação contempla as considerações finais, abrindo a possibilidade de futuros trabalhos com indicações e sugestões para que estes se realizem.

1.2 ENQUADRAMENTO

A floresta em Portugal ocupa o primeiro lugar no uso e ocupação do solo no território continental, com um total de 35,4% em 2010. No entanto a área florestal diminuiu durante o período de 1995 a 2010, correspondendo a uma taxa de perda líquida de -0,3% por ano. Das várias espécies arbóreas presentes nas florestas, o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), a espécie dominante na área de estudo da presente dissertação, diminui 263 mil ha de área entre 1995 e 2010. A maior parte desta área transformou-se em “matos e pastagens” (165 mil ha), 70 mil em eucalipto, 13 mil em espaços urbanos e 13,7 mil em áreas florestais com outras espécies arbóreas (ICNF, 2013).

Portugal extrai do terreno florestal continental uma riqueza por hectare de 344 euros/ano, o que é mais do que qualquer outro país do Mediterrâneo. A contribuição anual das florestas para o bem-estar público é muito superior em Portugal comparativamente a outros países do Mediterrâneo, o que pode significar que existe em Portugal uma mais eficiente utilização dos recursos florestais. Assim sendo, a floresta portuguesa tem sido a base de um setor da economia que gera cerca de 113 mil empregos diretos, ou seja 2% da população ativa. Este número tem-se mantido mais ou menos constante durante as últimas duas décadas, o que, com o nível de produção que se tem verificado, sugere um crescimento na produtividade do trabalho no setor. O setor florestal representa ainda cerca de 10% das exportações em Portugal bem como 3% do seu Valor Acrescentado Bruto (ICNF, 2006).

No entanto, os fogos florestais têm desbastado muito do território florestal português. Apesar do fogo ser um fenómeno natural em muitos ecossistemas, permitindo regenerar e potenciar até a fertilidade nos ecossistemas (Shakesby e Doerr, 2006), no Mediterrâneo e em particular em Portugal tem-se tornado um problema. Nas últimas décadas (1980-2012) tem existido um aumento no número de ocorrências de fogo e a área ardida tem vindo igualmente a aumentar. (Figura 1). Segundo Ferreira *et al.* (2005), em Portugal, tem existido um aumento do número de incêndios e área ardida, tal facto deve-se em parte à falta de gestão da biomassa presente nas florestas. É ainda de salientar que a área ardida é principalmente florestal, os anos com episódios mais significativos foram o ano de 2003 e 2005 com uma área total ardida de 425.839 ha e 339.089 ha respetivamente.

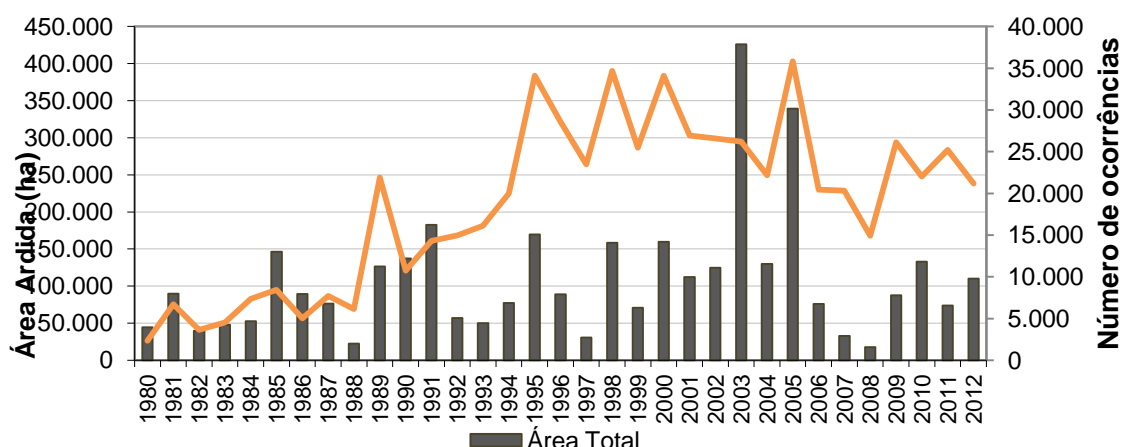


Figura 1 - Historial de ocorrências de incêndios e área ardida (ha) entre 1980-2012 (adaptado de ICNF, s.d.)

Com este panorama de incêndios florestais nas florestas portuguesas, surge a necessidade crescente de uma gestão da floresta mais eficiente da biomassa florestal. Com efeito é essencial perceber os impactos que os incêndios têm nos ecossistemas e estudá-los. Assim, chegando ao objetivo de identificar os danos que um fogo provoca e a sua amplitude, nas várias vertentes da floresta surgem estudos e trabalhos nesta área.

Quanto à avaliação dos efeitos dos fogos nos nutrientes, os primeiros estudos em Portugal foram realizados por Thomas *et al.* (1999, 2000a, 2000b), no âmbito do projeto europeu IBERLIM – “Land management practice and erosion limitation in contrasting wildfire and gullied locations in the Iberian Peninsula”. Este projeto centralizou-se no objetivo de compreender os efeitos dos fogos e das práticas de reflorestação. A investigação avaliou as perdas da fração solúvel e permutável de nutrientes, nos sedimentos arrastados e na escorrência após incêndio florestal, assim como a influência da aplicação de algumas técnicas de mitigação de erosão após incêndio, na mobilização dos nutrientes. Posteriormente surgem os projetos: CLIMED – “*Effects of climate change and climate variability in water availability and water management practices in Western Mediterranean*” e FAIR - “*Development of Amelioration Strategies to reduce Environmental Deterioration and Agricultural Productions Losses in Water Repellent Regions*”, que suportaram o estudo de Ferreira *et al.* (2005) onde se pretendia avaliar as estratégias para o risco de inundação e seca face às alterações globais. Ainda é de salientar o projecto SILVAQUA – “*Avaliação dos impactes das alterações climáticas sobre*

os recursos hídricos e a fixação de CO₂ por povoamentos florestais de crescimento rápido em Portugal” que estudou as implicações hidrológicas do incêndio florestal e a associada exportação dos nutrientes na escorrência, bem como o projeto FIRECNUTS – “Efeitos de fogos florestais na quantidade e dinâmica de carbono e nutrientes no solo e na sua exportação por escorrência superficial”, que veio contribuir, entre outras vertentes, para uma melhor compreensão dos impactes dos incêndios florestais na mobilização dos nutrientes. Ainda é de salientar os projetos EROSFIRE – “Ferramenta de apoio na decisão para identificação, com base em modelação, de risco de erosão do solo após incêndios florestais” e EROSFIRE II – “Ferramenta SIG para conservação do solo, à escala de encostas até bacias hidrográficas, após incêndios florestais”. Este projetos contribuíram de forma significativa para informar os gestores de áreas ardidas sobre as medidas necessárias à minimização dos impactos de fogos florestais nos terrenos ao seu cuidado. Também possibilitou a informação sobre alterações ao escoamento de água e sólidos suspensos transportados para rios e estuários aos gestores de recursos hídricos, contribuindo desta forma para a gestão integrada de bacias hidrográficas. Por fim, com início no ano de 2012, surge o projeto europeu CASCADE - “Catastrophic Shifts in drylands: how can we prevent ecosystem degradation”, em que se pretende investigar os impactos de fogos florestais na degradação de ecossistemas mediterrâneos, na região centro norte de Portugal em florestas de pinheiro bravo (*Pinus pinaster*). O projeto alberga várias frentes de investigação, sendo a participação portuguesa um estudo sobre uma área ardida. Esta dissertação avalia a exportação de nutrientes N e P nas suas formas totais, que é um dos impactos dos fogos e uma forma de “degradação” dos ecossistemas. Assim, o presente estudo será uma avaliação da perda de nutrientes por escorrência, na perspetiva de comportamento após fogo, num período de 9 meses que sucederam ao último episódio de fogo. Como complemento da lacuna no conhecimento que existe nesta área de investigação dos fogos florestais repetidos na degradação de ecossistemas.

1.3 CICLO DE NUTRIENTES

O solo tem uma importância grande na gestão e manutenção dum ecossistema bem como no crescimento da floresta. É o suporte dos seres vivos, mantém e fornece a humidade e nutrientes para o crescimento da vegetação, e serve ainda como base e meio para o crescimento das raízes. No solo florestal é importante e essencial a produtividade, pois a sua degradação prejudica a biodiversidade e as populações de

microrganismos existentes. Assim, o ciclo de nutrientes nestes ecossistemas é fundamental ser compreendido e estudado, uma vez que nos ecossistemas florestais, ao contrário do que acontece nos terrenos agrícolas, não é muito frequente a existência de adições externas de nutrientes para aumentar a sua produtividade.

Quanto aos nutrientes existentes no solo e mediante as proporções em que estes se encontram nas plantas, podem dividir-se em macronutrientes e micronutrientes sendo os primeiros - carbono, oxigénio, hidrogénio, azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre - e os segundos - ferro, manganês, zinco, cobre, molibdénio, boro e cloro. Podem ser encontrados no solo em três formas: (i) não assimilável - o elemento faz parte de um composto e não pode ser absorvido pelas raízes sem alteração ou decomposição deste; (ii) permutável - os iões são absorvidos na superfície de partículas da fração mineral sólida ou da fração orgânica do solo e são, em parte, assimiláveis pelas plantas; (iii) dissolvida - forma mais assimilável (Costa, 2004).

O ciclo de nutrientes em áreas florestais abrange um conjunto de processos biogeoquímicos que requer uma contínua e eficiente recirculação e renovação dos nutrientes, resultando em entradas e saídas de nutrientes nestes ecossistemas (Attiwill e Adams, 1993; Bormann e Likens, 1967). Assim, este ciclo é constituído por adições, perdas, consumos e retenção que resulta na transferência de nutrientes entre plantas e solo (processos de absorção e lixiviação) e na redistribuição interna dos nutrientes como o caso do fósforo e o azoto (Figura 2).

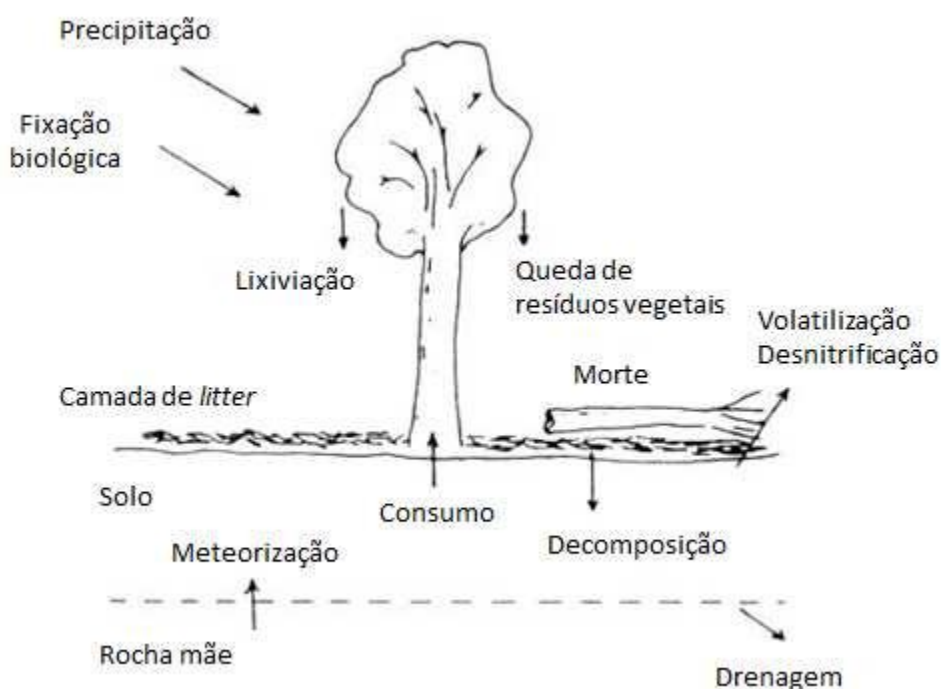


Figura 2 - Esquematização do ciclo dos nutrientes no ecossistema florestal (Attiwill e Adams, 1993)

Os nutrientes podem entrar no ecossistema terrestre por deposição húmida (precipitação), deposição seca (inclui queda das folhas, ramos e ainda outros materiais orgânicos), decomposição, fixação biológica e meteorização geoquímica das rochas. Os nutrientes podem ainda ser consumidos e retidos pela vegetação e pela população de microrganismos. Quanto às saídas/perdas de nutrientes acontecem por erosão, lixiviação, volatilização, desnitrificação. (Neary *et al.*, 2005; Raison *et al.*, 2009).

Quando se analisa os nutrientes é importante determiná-los nas suas formas totais, ou seja, obter a quantidade total dos nutrientes. A importância desta determinação deve-se ao facto de que uma grande fração se encontrar na forma não assimilável, isto é, está fixa nas partículas minerais, estas são uma grande fonte de reserva dos nutrientes que ao longo do tempo vão sendo disponibilizados por processos de meteorização. Assim no caso deste estudo, os nutrientes a estudar, que são os mais importantes para a sustentação da floresta, azoto e fósforo, são determinados nas suas formas totais (dissolvido e particulado). Para se avaliar as perdas destes nutrientes em todas as suas formas presentes no ecossistema.

O azoto (N) é o quarto elemento mais abundante nas plantas e é o nutriente limitante no crescimento vegetal. Está presente nos ecossistemas e pode ser encontrado na atmosfera, água, solo, sedimentos e nos componentes orgânicos dos seres vivos (aminoácidos, proteínas e ADN). Apesar de ser extremamente abundante na atmosfera o azoto só pode ser assimilado pelas plantas sob três formas simples iónicas: amónia (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), cuja existência não é tão abundante. Como na sua forma mais abundante não pode ser absorvido pelos animais e plantas, exige que sofra processos de fixação, nitrificação e amonificação por fungos e bactérias aeróbias e anaeróbias, originando as três formas mais simples já referidas. O processo de fixação natural consiste em o azoto nas formas de N_2 e N_2O ser convertido, respetivamente, em amoníaco e amónia (NH_3 e NH_4^+) por bactérias fixadoras de N, e em NO por descargas elétricas na atmosfera. A fixação pode também ser de origem industrial e de combustão, onde o N_2 é convertido em NO_3^- e NH_3 , respetivamente. No processo de nitrificação, as bactérias nitrificantes aeróbias oxidam o NH_3 a NO_2^- e NO_3^- . No processo de amonificação, a decomposição microbiana de compostos orgânicos resulta na libertação de NH_3 e NH_4^+ ; esta decomposição pode ter origens distintas, como provir de metabolismo animal ou da morte (parcial) de seres vivos. O processo de desnitrificação é de certa forma o inverso do processo de nitrificação. Na ausência de oxigénio, as bactérias anaeróbias utilizam nitratos no processo respiratório e libertam para atmosfera azoto na forma de N_2 . Outro processo do ciclo do azoto é a oxidação anaeróbia da amónia, em que ocorre oxidação anaeróbia de NH_4^+ realizada por bactérias especializadas que reduzem o nitrito NO_2^- e oxidam a NH_4^+ , libertando azoto molecular. Apesar destes processos todos ocorrerem para que o azoto se tornar mais facilmente assimilável, parte das formas de azoto não são utilizadas pois perdem-se por evaporação, infiltração e escurência.

O fósforo é o segundo elemento mais importante para o crescimento vegetal, sendo frequentemente um nutriente limitante. Pode ser encontrado em rochas, solo, água e sedimentos, e é fundamental para os organismos nas reações bioquímicas do material genético e na transferência de energia (ATP, ADP). É obtido na forma de fosfato (PO_4^{3-}) por processos de meteorização das rochas. Por meio de bactérias, é reposto no meio ambiente na forma solúvel, sendo facilmente transportado através da escurência. As etapas do ciclo do fósforo compreendem vários processos tais como: a dissolução, absorção biológica e remineralização. Através do processo de meteorização, o fósforo, na forma de PO_4^{3-} , é dissolvido e transportado até aos rios e ao oceano, por escurência e infiltração, e absorvido pelas raízes das plantas e pelos peixes, entrando na cadeia

alimentar. Uma vez no mar, pode ser utilizado pelos ecossistemas ou depositado em sedimentos rasos ou profundos (Varennnes, 2003; Moreira *et al.*, 2010).

1.4 IMPACTOS DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CICLO DE NUTRIENTES

Os incêndios florestais podem ser caracterizados por três grandes e principais variáveis: severidade, frequência e época do ano em que se dá o incêndio. A combinação destes fatores é que vai definir o regime de fogo a que a floresta esteve exposta. O regime de fogo tem ainda que ser analisado em conjunto com as características do local e as espécies que compõem a floresta, assim é possível determinar o efeito que o fogo teve no ciclo de nutrientes bem como em outras propriedades e processos do ecossistema florestal. Dependendo da severidade do incêndio existirá maiores ou menores alterações no ecossistema florestal. As principais alterações no ciclo de nutrientes provocadas pela severidade de fogo são listadas na Tabela 1. É de notar que o regime de fogo é algo que é crítico para o ciclo de nutrientes, mas é necessário considerar o efeito da repetição dos fogos nestas áreas.

Tabela 1 - Efeitos diretos e indiretos da severidade no ciclo de nutrientes numa área florestal

Efeitos diretos	Efeitos indiretos
Perda de nutrientes para a atmosfera durante a combustão de vegetação e manta morta	Perda de nutrientes no solo/cinzas por erosão (vento/água) ou lixiviação
Aquecimento do solo	Mudanças no microclima e propriedades do solo
Deposição de cinzas	Alteração nas taxas de mineralização
Remoção de vegetação	Alteração nas taxas de fixação do N
	Alterações nas reservas de nutrientes na vegetação e modificação da cobertura vegetal e decomposição

Outro impacto importante a considerar é o efeito do fogo na recuperação da vegetação. Quando esta é muito lenta pode ser crítico, já que a vegetação irá ajudar a estabilizar o solo e a voltar a estabelecer o ciclo de nutrientes. Por outro lado, a estação onde ocorre o incêndio é também um fator que condiciona a perda de nutrientes. Esta razão é explicada por, por exemplo, se ocorrer um incêndio na época de crescimento das plantas, o N perdido será em muito maior quantidade do que numa estação de perda de folhas, pois a presença de N nas folhas é superior (Raison *et al.*, 2009).

Os incêndios florestais são ainda responsáveis por provocar alterações no ciclo de nutrientes a nível da disponibilização dos nutrientes através da combustão da matéria orgânica, o que aconteceria de forma gradual num período de tempo mais alargado se o fogo não ocorresse. Por outro lado, os fogos florestais podem levar a uma perda abrupta de nutrientes por volatilização, dependendo das temperaturas que o fogo atinge (Neary *et al.*, 2005). A volatilização desempenha um papel relevante na perda de nutrientes para a atmosfera. Dependendo da temperatura atingida pela combustão os nutrientes são volatilizados nos episódios de incêndio. No caso do azoto, é considerado o elemento sujeito a maiores perdas, dado que a sua volatilização começa ao 200 °C. Quando a temperatura atinge valores superiores a 500 °C, já cerca de metade do azoto existente na matéria orgânica sofreu volatilização. Para outros nutrientes são necessárias temperaturas mais elevadas para volatilizar, como por exemplo o potássio que se volatiliza com temperaturas superiores a 760° C, o fósforo a 774° C, o enxofre a 800° C, o sódio a 880° C, o magnésio a 1107° C e o cálcio a 1240° C.

Uma das consequências mais importante quando ocorre um fogo é a exportação de grandes quantidades de nutrientes por escoamento, esta poderá desencadear problemas de poluição a jusante, com especial incidência em barragens e captações de água muito próximas das áreas queimadas. Os nutrientes estão disponíveis para as plantas durante pouco tempo após um fogo, já que depois das primeiras chuvas, os nutrientes em solução são facilmente lixiviados e também exportados através de escorrência. Este arrastamento para as linhas de água causa a degradação da qualidade das águas a jusante. O grau e a gravidade destes efeitos dependem da temperatura que atinge o fogo, a qual, por sua vez, depende das características dos combustíveis, das condições meteorológicas na altura do incêndio e da condutividade térmica do solo. Além das quantidades de nutrientes removidas e arrastadas pelo processo de “wash off”, ocorrem nas copas das árvores processos de absorção e exsudação que contribuem para alterar significativamente a quantidade de solutos que atingem o solo sob povoamentos

florestais quando comparados com a deposição total nas áreas desprovidas de povoamentos arbóreos. Deste modo as áreas queimadas perdem a capacidade de transferir quantidades adicionais de nutrientes da atmosfera para o solo em resultado do desaparecimento da parte aérea da vegetação (Moreira *et al.*, 2010).

2 EFEITOS DOS FOGOS FLORESTAIS REPETIDOS NA EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES POR ESCORRÊNCIA

Efeitos dos fogos florestais repetidos na exportação de nutrientes por escorrência

D. Varandas^(a), A.I. Machado^(a), M. Hosseini^{(a) (b)}, O. González-Pelayo^(a), V. Geissen^(b), C. Coelho^(a), C. Ritsema^(b), J.J. Keizer^(a)

^(a) Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 3810 Aveiro,

^(b) ALTErra-WUR, Wageningen, The Netherlands.

2.1 RESUMO

Num período de 9 meses após o incêndio que deflagrou no verão de 2012, foi estudada a mobilização de nutrientes nas suas formas totais (azoto total e fósforo total) por escorrência. O estudo foi feito à escala de microparcela numa área pertencente ao concelho de Viseu, que foi escolhida por ter sofrido incêndios não só em 2012 mas também em 1978, 1985, 2005. Na área de estudo a vegetação dominante é pinhal de Pinheiro-Bravo (*Pinus pinaster*), com *Pterospartum tridentatum* como elemento predominante na camada arbustiva. O desenho experimental na área de estudo baseou-se na escolha de 6 encostas, onde 3 sofreram quatro incêndios e 3 encostas que apenas sofreram um incêndio num período de 30 anos. Em seguida foram instaladas 6 microparcels emparelhadas duas a duas ao longo de cada encosta, topo, meio e base. Durante o período de estudo foram recolhidas 522 amostras de escorrência. As concentrações totais de azoto (N) e fósforo (P) destas amostras foram determinadas por um método colorimétrico integrado num sistema por injeção em fluxo. Os resultados mostraram que é na área queimada 4 vezes onde as perdas de NT (azoto total) e PT (fósforo total) foram maiores, em comparação com a área queimada uma vez. No caso do NT as perdas totais encontradas nas amostras de escorrência foram de 14,2 g/m² vs 1,9 g/m² no total do período de estudo, enquanto que para o PT as perdas totais 2,1 vs 0,5 g/m².

Palavras-chave: Incêndios florestais (repetidos), pinhal, escorrência, exportação de nutrientes, azoto total, fósforo total.

2.2 ABSTRACT

Total nutrient mobilization by runoff (total nitrogen and total phosphorus) was studied for 9 months after a summer forest fire in 2012. The study was settled at a scale of microplot. The studied area (Viseu municipality) was chosen due to the exposure to repeated forest fires also in 1978, 1985, 2005. The dominant vegetation was *Pinus pinaster* and *Pterospartum tridentatum* as the predominant element in the shrub layer. The experimental area design was based on the choice of 6 slopes: 3 experienced four fires and 3 experienced only one fire over a period of 30 years. Six paired microplots were installed along each side of the slope, its top, middle and base. During the experience period 522 runoff samples were collected. Total nitrogen (N) and total phosphorus (P) concentration were determined by a colorimetric method integrated into a flow injection system. The results revealed that 4 times burned area presented higher NT (total nitrogen) and PT (total phosphorus) losses than 1 time burned area. The total runoff losses found were 14,2 g/m² vs 1,9 g/m² for NT and 2,1 vs 0,5 g/m² for PT.

Keywords: repeated forest fires, pinewood, runoff, nutrient export, total nitrogen, total phosphorus.

2.3 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais na Europa têm-se registado principalmente nas regiões do sul e, em particular, nos países do Mediterrâneo. O padrão espacial de ignições de incêndios no continente europeu indica que a maior densidade de incêndios florestais se verifica no NW da Península Ibérica (Marino *et al.*, 2011). O regime atual de fogos florestais foi desencadeado principalmente por várias mudanças socioeconómicas, entre as quais se inclui o êxodo rural e abandono das terras, juntamente com o aumento o número de dias com perigo extremo de incêndio (Shakesby *et al.*, 2013).

Neste contexto, surge a necessidade de estudar os impactos que os fogos florestais têm sobre estes ecossistemas. Existem vários tipos de impactos, sendo a perda de nutrientes uma das consequências passagem do fogo.

A exportação de grandes quantidades de nutrientes poderá desencadear problemas de poluição a jusante, em especial se existirem barragens e captações de água muito próximas das áreas queimadas (Moreira *et al.*, 2010). Os fogos florestais geralmente

provocam um aumento nas taxas de escorrência e perda de sedimentos (Inbar *et al.*, 1998; Certini, 2005; Shakesby *et al.*, 2011). Os fogos também tendem a resultar em alterações hidrológicas no solo, como num aumento da repelência após um fogo, o que diminui a capacidade de infiltração e aumenta a escorrência superficial e, com esta, as perdas de nutrientes, tanto na forma solúvel como associado aos sedimentos erodidos (Ferreira *et al.*, 2005). A intensidade da repelência dos solos à água induzida pelo fogo, depende de vários fatores, onde se inclui: o conteúdo de água no solo (relação inversa), a textura (maior repelência para solos arenosos), a severidade do fogo, a quantidade da matéria orgânica e a sua composição (Moreira *et al.*, 2010). Os efeitos do fogo sobre a erosão hídrica e a subsequente resposta do solo dependem do comportamento do fogo, está principalmente relacionado com a intensidade do fogo (isto é, a temperatura máxima sobre a superfície do solo e a sua duração), bem quanto às características de qualquer evento de chuva subsequente. Os incêndios florestais são também responsáveis pela redução da cobertura vegetal, deixando a superfície do solo desprotegidas contra impacto das gotas de chuva. A remoção completa da vegetação pode também levar a uma degradação irreversível do solo em áreas semi-áridas (Gimeno-García *et al.* 2007).

Vários estudos em Portugal que quantificaram as perdas de nutrientes em áreas ardidas, como os de Thomas *et al.* (1999, 2000a, 2000b) e Ferreira *et al.* (2005). No entanto, não existe nenhum estudo que tenha quantificado estas perdas para áreas com históricos de fogo distintos. Surge este trabalho com o objetivo de colmatar essa lacuna no conhecimento, especificamente para plantações de pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) na Região Centro de Portugal. São comparadas duas áreas com históricos de fogo distintos. Uma área sofreu 4 incêndios nos últimos trinta anos, inclusive em 2012, enquanto uma área adjacente só sofreu este último incêndio em 2012. Este estudo foca na exportação de nutrientes e, mais concretamente, o N (azoto) e P (fósforo) nas formas totais (dissolvida e particulada), por serem dois nutrientes que frequentemente são limitantes em ecossistemas florestais (Neary *et al.*, 2005).

2.4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na freguesia de Várzea, concelho de Viseu, distrito de Viseu na zona Centro-Norte de Portugal (Figura 3). Nesta região o clima é, segundo a classificação climática de Köppen, temperado com verão seco e suave (IPMA, 2013). Sendo a temperatura média mensal nos últimos 10 anos de 13.8°C medida na estação de São Pedro do Sul (40.75 N; -8.07 W; 182m de altitude) (SNIRH, 2013).

A estação udométrica mais próxima é a de São Martinho das Moitas (40.883 N; -8.033 W e a 408m de altitude) onde os valores de precipitação anuais variaram entre 715-2801mm sendo o valor médio dos últimos 10 anos de 1488mm (SNIRH, 2013). A área está inserida na bacia hidrográfica do Rio Vouga e a vegetação arbórea é predominantemente de *Pinus pinaster* com presença de vegetação rebrotadora, o arbusto *Pterospartum tridentatum*.

A seleção da área de estudo teve como principal critério a existência de áreas com diversificadas frequências de fogo. Foi também considerado o facto de ter ardido no ano de 2012 e por as áreas terem diferentes frequências de fogo ao longo das últimas três décadas, o que conferiu uma janela de oportunidade quanto ao estudo realizado. Uma zona sofreu quatro episódios de fogo nos últimos trinta anos, inclusive no ano de 2012, enquanto a outra só ardeu uma vez neste mesmo período, também em 2012.

Para esta escolha foi ainda necessário ter em conta se as áreas partilhavam as mesmas características no que diz respeito a: rocha mãe (xisto), uso do solo (floresta), aspeto, ângulo de inclinação, solos e vegetação em diferentes estágios (ver Tabela 2 e 3).

No total da área de estudo que é cerca de 3000ha, foram escolhidas duas áreas distintas. Uma área que ardeu 4 vezes nos últimos 30 anos, em 1978, 1985, 2005 e 2012. E outra área que ardeu apenas em 2012, nos últimos 30 anos (Figura 3). Por questão de facilidade de identificação das áreas, a área que ardeu quatro vezes é designada de multi-fogos e a que ardeu uma vez a área uni-fogo. Em cada uma destas áreas foram selecionadas 3 encostas que partilham as características acima referenciadas.

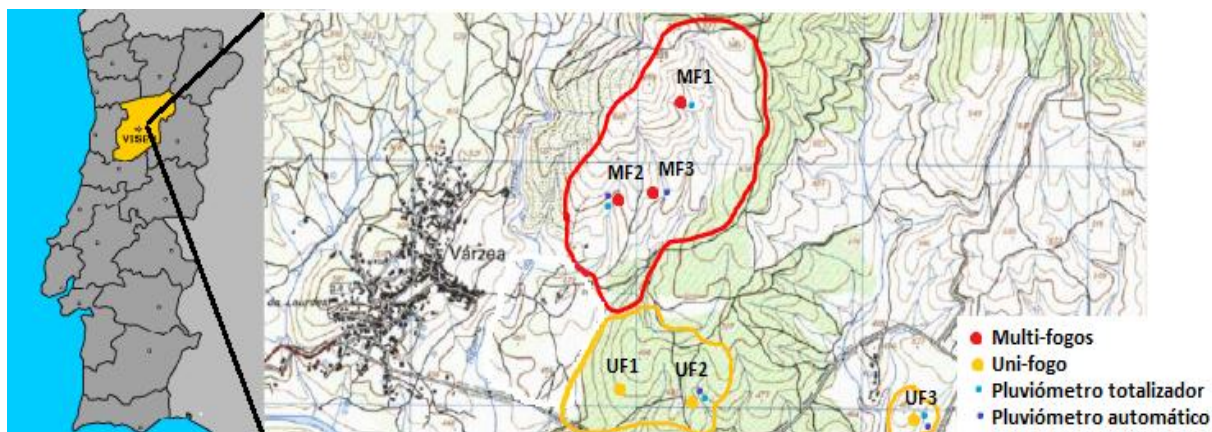


Figura 3 - Mapa da área de estudo

Tabela 2 - Características das encostas da área multi-fogos

Características	MF1	MF2	MF3
Convecção da encosta	Meio	Meio	Meio
Altura x Largura	100 x 60 m	100 x 50 m	100 x 40 m
Ângulo	30-40%	30-40%	25-30%
Orientação	180°	180°	180°
Rocha mãe	Xisto	Xisto	Xisto
Afloramentos de pedras/Stoniness surface	Poucos/muitas (2-7.5 cm/plana)	Poucos/muitas (2-7.5cm/tabular)	Poucos/muitas (2-7.5cm/tabular)
Vegetação	<i>P. pinaster</i> (7 anos) - 50% Mato - 50%	<i>P. pinaster</i> (7 anos) - 5% Mato - 95%	<i>P. pinaster</i> (7 anos) - 50% Mato - 50%
Profundidade do solo (cm)	10-30	10-30	10-30
Severidade do fogo	Alta	Alta/moderada	Alta

Tabela 3 - Características das encostas da área uni-fogo

Características	UF1	UF2	UF3
Convecção da encosta	Meio	Meio	Topo
Altura x Largura	40 x 40 m	30 x 40 m	40 x 40 m
Ângulo	20-25%	20%	15-18%
Orientação	190°	190°	180°
Rocha mãe	Xisto	Xisto	Xisto
Afloramentos de pedras/Pedregosidade à superfície	Poucos/ poucos (0.5-2.5 & 2-7.5 cm/tabular)	Muito pouco (>50 m)/ frequente (0.5-2.5 & 2-7.5 cm/tabular)	Muito pouco (>50)/ frequente (2-7.5cm/tabular)
Vegetação	<i>P. pinaster</i> (15-30 anos) - 50% Mato - 50%	<i>P. pinaster</i> (20 anos) - 60% Mato - 40%	<i>P. pinaster</i> (15 anos) - 90% Mato - 10%
Profundidade do solo (cm)	30-40	30-40	30-40
Severidade do fogo	Moderada	Moderada	Moderada

2.5 MATERIAIS E MÉTODOS

2.5.1 DESENHO EXPERIMENTAL

O desenho experimental foi concebido com a instalação de microparcels de erosão nos seis locais de estudo. Inicialmente foi feita a instalação de 4 microparcels de erosão por encosta em cada uma das áreas, no fim de Agosto de 2012, logo após o incêndio. Algumas semanas mais tarde foram instaladas mais 2 microparcels em todas as encostas. Cada encosta ficou portanto instrumentada com 6 microparcels, divididas em três pares por três blocos desde a base até o topo da encosta (Figura 4). As microparcels emparelhadas visavam comparar a erosão pós-fogo de locais com presença de vegetação rebrotadora (o arbusto *Pterospartum tridentatum*) e na ausência

desta (figura 5). As parcelas estavam feitas de capa de zinco e tinham uma área de cerca de $0,25 \text{ m}^2$ ($0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$). As microparcelsas emparelhadas visavam comparar a erosão pós-fogo de locais com presença de vegetação rebrotadora (o arbusto *Pterospartum tridentatum*) e na ausência desta (Figura 5). Estavam conectadas por mangueiras a tanques de 30L e 70L, onde se faz recolha das amostras de escorrência provenientes das microparcelsas.



Figura 4 - Microparcelsas numa encosta da área de estudo



Figura 5 - Microparcelsas com presença e ausência de arbusto

A área de estudo foi monitorizada numa janela temporal de 9 meses logo após o incêndio e com uma frequência semanal ou bi-semanal, dependendo de ocorrência de chuva. As amostras foram recolhidas em garrafas de 0,5 L de polietileno, previamente lavadas com ácido clorídrico (37%) e água destilada. Após a recolha, as amostras foram colocadas em arcas térmicas e transportadas para o laboratório, onde foram armazenadas no frio (4º C).

A precipitação total e a sua intensidade foram monitorizadas através de 4 pluviómetros totalizadores, 2 na área multi-fogos e 2 na área uni-fogo e ainda através de 4 pluviómetros automáticos, 2 em cada área.

2.5.2 RECOLHA E ANÁLISE LABORATORIAL DAS AMOSTRAS

Durante o período de estudo foram recolhidas e analisadas 522 amostras de escorrência, por um período de 9 meses com frequência variante. As amostras trazidas da recolha do trabalho de campo foram, dependendo da disponibilidade de análise, ou diretamente congeladas ou transferidas para garrafas de vidro (100ml de amostra). Estas garrafas foram previamente lavadas com ácido clorídrico (37%) e água destilada. O azoto e fósforo em formas totais foram analisados com recurso aos procedimentos mais recentes do ISO (ISO 15681-1; ISO 11905 e 13395), usando um sistema de análise por um método colorimétrico integrado a um sistema por injeção em fluxo da FOSS (FIAstar 5000 *Analyser*). As gamas de deteção utilizadas foram 0,1-5 mg/l no caso do N, tendo sido necessário introduzir uma diluição em algumas amostras, e no caso do P as gamas de 0,01-1 mg/l e para algumas amostras 0,1-5 mg/l.

A massa dos nutrientes mobilizada pela escorrência foi calculada através da seguinte equação:

$$m_i \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^2} \right] = \frac{C_i \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] \times V_{\text{escorrência}} [\text{L}]}{A_{\text{parcela}} [\text{m}^2]} \quad (1)$$

Onde: m_i representa a massa mobilizada do nutriente i (PT ou NT); C_i corresponde à concentração do nutriente i ; $V_{\text{escorrência}}$ corresponde ao volume de escorrência entre datas de amostragem; A_{parcela} representa a área da microparcela.

A determinação da perda de sedimentos, nas amostras de escorrência, realizou-se pelo método 2540 D- Sólidos Suspensos Totais (SST) (APHA, 1999).

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.6.1 VARIAÇÃO TEMPORAL DA MOBILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES

2.6.1.1 RESUMO DOS VALORES GLOBAIS DE ESCORRÊNCIA E PERDAS

A Tabela 4 apresenta em resumo os valores dos coeficientes de escorrência, as perdas totais de sedimentos e as perdas totais de N e P durante o período de estudo nas duas áreas queimadas multi-fogos e uni-fogos.

No somatório dos valores totais das duas áreas foram perdidos aproximadamente 16,3 g/m² do nutriente N onde 87% aconteceu na área multi-fogos. O nutriente P teve uma soma total de perdas de 2,4 g/m² das quais 79% destas perdas foram também na área multi-fogos. Quanto a perdas de sedimentos a área onde se registaram maiores perdas foi a multi-fogos, correspondendo a cerca de 86% dum total perdido de 10043,0 g/m². É ainda a área multi-fogos a que apresenta o coeficiente de escorrência médio mais elevado correspondendo a 34%. A área uni-fogo por sua vez é onde se verificam os valores mais baixos nos três parâmetros. Segundo Ferreira *et al.* (2005) em zonas queimadas existe maior perda de nutrientes, devido à existência duma camada de cinza nestes locais, por outro lado Raison *et al.* (2009) chama à atenção para o facto de ser necessário considerar o efeito da repetição dos fogos nos efeitos destes no ciclo de nutrientes. É portanto de esperar que a área onde aconteceram mais episódios de fogo (multi-fogos) seja onde as perdas são maiores, o que se verificou. Nas áreas ardidas há uma alteração nas taxas de escorrência, sendo estas maiores do que em áreas não ardidas (Gimeno-García *et al.*, 2000, Ferreira *et al.* 2005). Também se pode verificar no presente estudo que pelos valores totais que a perda de sedimentos está relacionada diretamente com a escorrência, pois é onde o coeficiente de escorrência é maior que também as perdas de sedimentos são maiores e ainda nas perdas de nutrientes. Esta ligação destes três parâmetros sugere que as perdas de nutrientes se dão predominantemente na forma particulada (Rodríguez-Blanco *et al.*, 2009).

Tabela 4 - Escorrência superficial e mobilização de nutrientes e sedimentos nas áreas multi-fogos e uni-fogo durante os primeiros nove meses após um incêndio florestal em 2012.

Área	Coeficiente de escorrência [%]	Perda de sedimentos [g/m ²]	Perda de nutrientes [g/m ²]	
			N	P
multi-fogos	34	8642,5	14,2	1,9
uni-fogo	22	1400,5	2,1	0,5

Estudos também realizados na região centro norte de Portugal (Thomas *et al.*, 1999; Ferreira *et al.*, 2005) revelaram que nos primeiros meses após incêndio, a exportação de nutrientes foi mais rápida e generalizada do que nos anos seguintes (segundo e terceiro ano) (Thomas *et al.*, 2000a, 2000b). Fernández *et al.* (2011) verificaram, numa bacia da Galiza, que no primeiro ano pós-fogo, a exportação de nutrientes aumentou significativamente, diminuindo no ano seguinte, embora apresentando valores maiores do que no período pré-fogo. Após esse período inicial pós-fogo, os picos de nutrientes surgiram em resposta a eventos de precipitação. Ainda na mesma região portuguesa, Coelho *et al.* (2004) constataram que as taxas de erosão e perdas de nutrientes dependiam principalmente do transporte associado aos processos hidrológicos e do material disponível para o transporte.

2.6.1.2 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS AMOSTRAS DE ESCORRÊNCIA

A evolução temporal da concentração de nutrientes está organizada em dois gráficos abaixo apresentados onde é possível verificar a evolução temporal da concentração de NT (Figura 6) e a evolução temporal da concentração de PT (Figura 7) nas áreas multi-fogos e uni-fogo.

Nos primeiros meses de recolhas a concentração de NT nas amostras é mais elevada na área multi-fogos do que na uni-fogo. Na área multi-fogos há uma diminuição da primeira

para a segunda amostragem, seguido dum aumento das concentrações. No decorrer dos meses que se sucedem (Dezembro a Maio) as variações são semelhantes em ambas as áreas, embora os valores da área multi-fogos tendem a ser superiores. No entanto, é no início de Março que se verifica um evento onde na área uni-fogo a concentração de NT é superior à multi-fogos. Tornando-se o comportamento semelhante até ao final Maio com apenas mais um evento onde se inverte a tendência e se verifica que a concentração de NT é quase o dobro na área uni-fogo do que a multi-fogos. É na área multi-fogos que se verifica uma maior variação nos valores, sendo que na outra área de estudo não se observa a mesma intensidade de variação.

É de notar que a área multi-fogos tem picos de concentração na primeira e última amostragem deste estudo, atingindo valores a rondar os 5,0 mg/L. Na área uni-fogos os valores mais elevados foram registados no final do período de amostragem, tendo sido o seu valor mais alto 4,5 mg/L

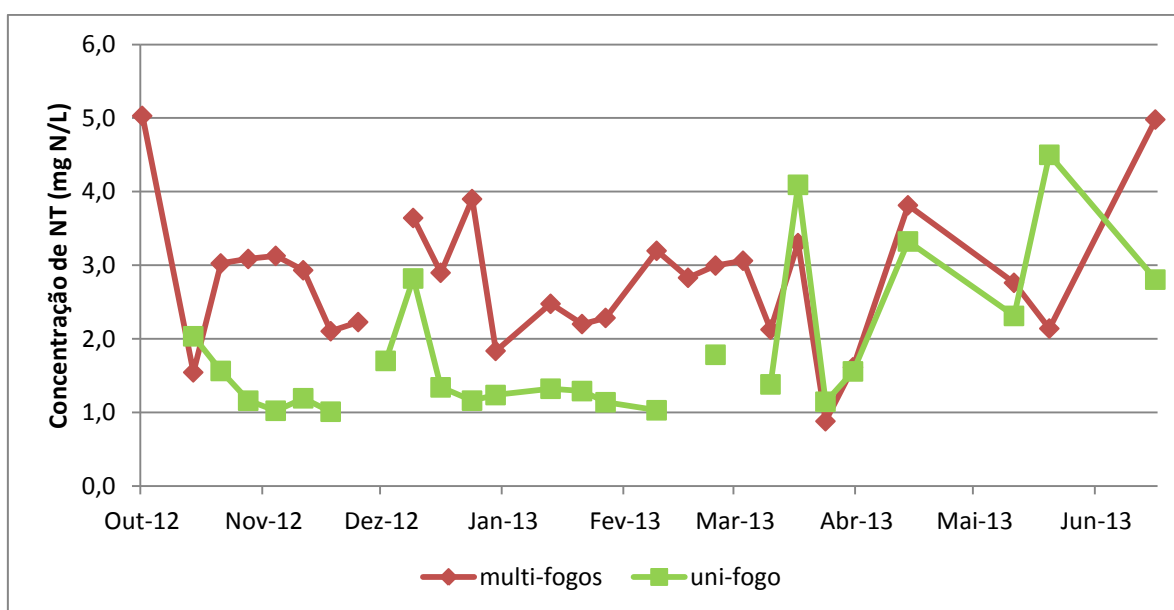


Figura 6 - Evolução temporal da concentração de NT

A concentração de PT não é tão regular como a de NT, sendo variável ao longo do período de estudo qual das áreas tem concentrações superiores. Nas primeiras três amostragens a área multi-fogos apresenta uma diminuição de valores, enquanto que na área uni-fogo a segunda amostragem apresenta um valor superior à primeira e segue-se nas quatro amostragens seguintes uma diminuição de valores. O comportamento nos meses seguintes até ao fim do estudo é semelhante nas duas áreas, no entanto é na área uni-fogo que se obtém as concentrações maiores deste nutriente. O valor maior de

concentração que foi registado na área uni-fogo foi de 1,26 mg/L e na multi-fogos 1,0 mg/L e ambos foram no primeiro mês (Outubro). Segundo Gimeno-García *et al.* (2000) estas variações de concentração de nutrientes são um problema que é importante na bacia do Mediterrâneo e pode ser explicado por o impacto dos incêndios contínuos e repetidos, principalmente no verão, que são seguidos de chuvas torrenciais no outono resultando numa intensa erosão. Os nutrientes são perdidos, pois eles são transportados principalmente com os sólidos pelo escoamento. Ainda é de salienta que, o efeito do fogo sobre a erosão do solo depende, principalmente, da sua intensidade e das características intrínsecas de qualquer evento subsequente chuva (intensidade, duração, etc).

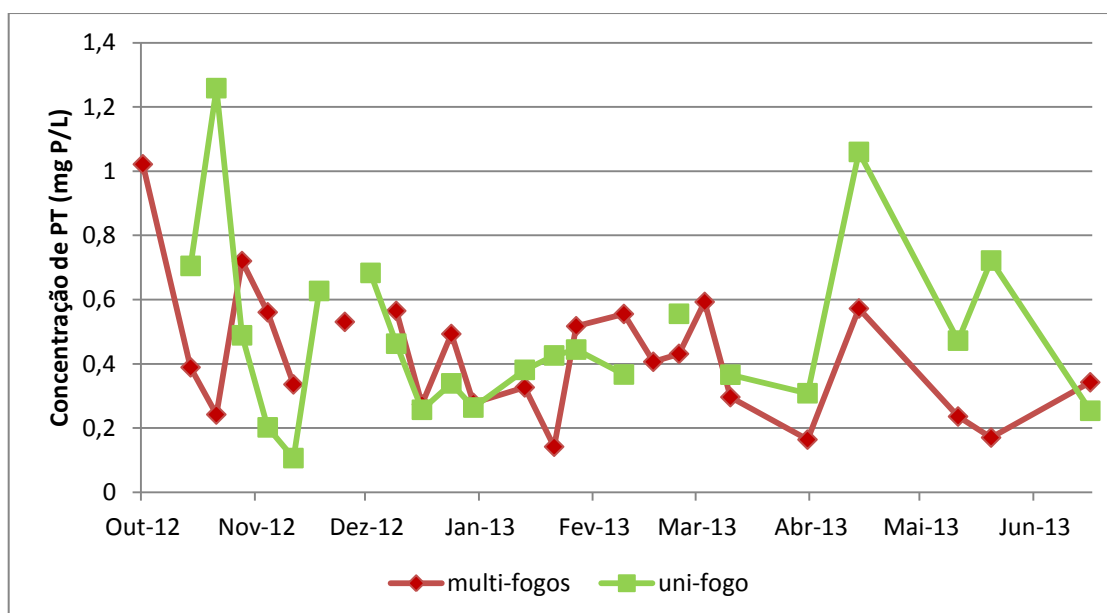


Figura 7 - Evolução temporal da concentração de PT

É possível observar em outros estudos realizados na mesma bacia hidrográfica (Vouga) as gamas de concentrações obtidas nas formas dissolvidas. São estudos que foram feitos em áreas ardidas em plantações de *Pinus pinaster*. No caso de Ferreira *et al.* (1996) verifica-se que há maiores concentrações de azoto (na forma de nitratos e nitritos dissolvidos) no primeiro ano após incêndio que no ano seguinte e para situações em que o solo não se encontra saturado. Já em Thomas *et al.* (2000b) os valores variam entre 0,10-0,32 mg NO_3^-/L e 0-0,13 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$. Ambos os estudos foram feitos para as formas dissolvidas dos nutrientes o que limita a comparação destes valores com os obtidos neste

trabalho, não sendo possível comparar diretamente com os resultados, já que se trata dum estudo nas formas totais do N e P.

2.6.1.3 PERDA DE NUTRIENTES NAS AMOSTRAS DE ESCORRÊNCIA

Quanto às perdas de nutrientes, os resultados são mais regulares do que nas concentrações. Estão representados nos gráficos das Figuras 8 e 9 e correspondem às perdas médias de NT e PT ao longo do período de estudo. A evolução temporal no caso das perdas do NT é clara: uma perda maior na área multi-fogos, e o padrão é semelhante nas duas áreas. No entanto no período inicial, no mês de Outubro, existe uma tendência oposta nas duas áreas, enquanto na área uni-fogo há uma diminuição seguido dum aumento de perdas, na área uni-fogo acontece uma diminuição. Raramente os valores se cruzam e apenas em uma amostragem, no mês de outubro, a área uni-fogo é superior em perdas em relação à outra área em estudo. Ambas as áreas têm um comportamento semelhante desde Outubro até Junho, ou seja, quando existe aumento de perdas de NT numa área também acontece na outra bem como o contrário. Apenas se registou em Janeiro um pico de perdas na área multi-fogos (99,2 mg/m²) que não foi acompanhado dum aumento também na área uni-fogo. Existem dois picos muito semelhantes de perdas na área multi-fogos que são os de maior valor e correspondem a 130,3 mg/m² e 131,6 mg/m². Na área uni-fogo apenas se registou no máximo 39,4 mg/m². As perdas maiores dão-se no período inicial (Outubro a Fevereiro) na área multi-fogos e no caso da uni-fogo é nos meses de término do estudo (meio de Março a meio do mês de Abril).

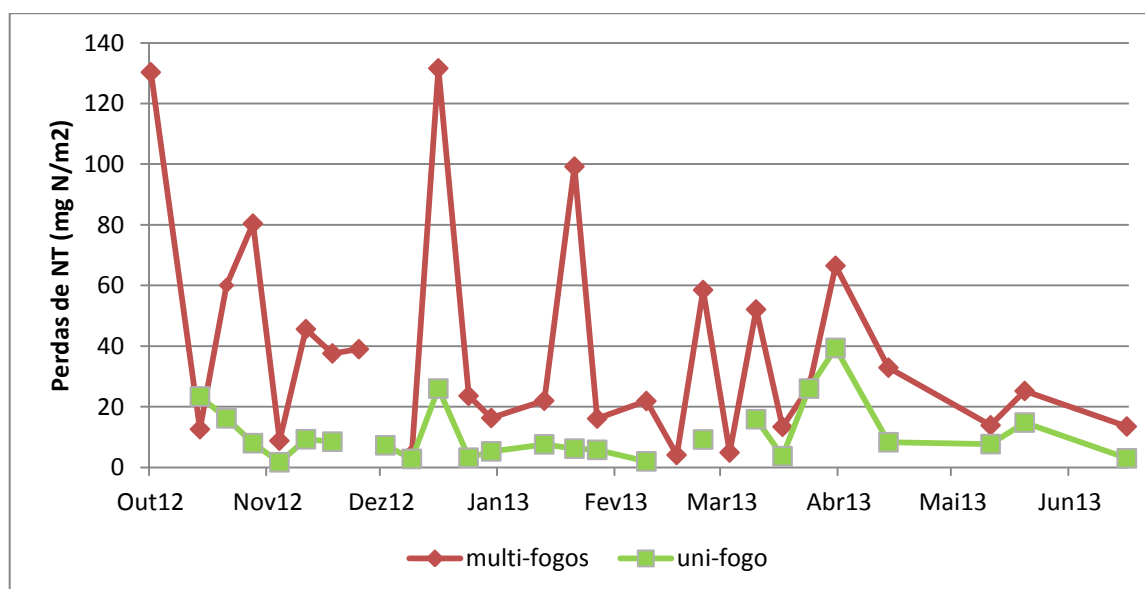


Figura 8 - Evolução temporal das perdas de NT

No caso das perdas de PT ambas as áreas se mantêm com um comportamento semelhante ao longo do tempo, apesar da área multi-fogos apresentar valores superiores de perdas. Ao longo do período de estudo é de notar uma diminuição gradual das perdas de PT em ambas as áreas. A primeira amostragem foi onde a área multi-fogos registou o seu maior valor de perdas, em contraste na uni-fogo não se obteve amostras pelo que não há valor para comparação. Esta grande perda de PT da primeira amostra foi seguida duma diminuição abrupta, tendo atingido um valor menor que na área uni-fogo. À semelhança do que aconteceu no evento de Janeiro nas perdas de NT, também nessa mesma data a área multi-fogos registou um aumento de perdas de PT mas não foi acompanhado dum aumento na área uni-fogo. A considerar ainda que os valores maiores são registados no início do estudo (primeiro mês), correspondendo ao máximo 24,4 mg/m² e 14,9 mg/m² respetivamente nas áreas multi-fogos e uni-fogo.

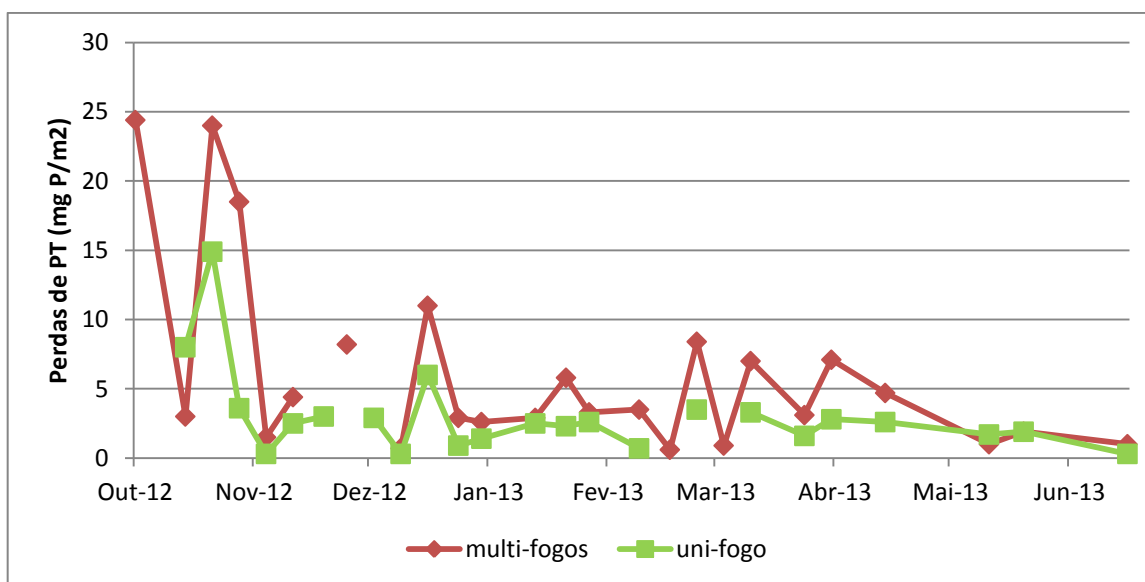


Figura 9 - Evolução temporal das perdas de PT

As primeiras amostragens são onde se dão as maiores perdas, fato este que se pode explicar por após o incêndio ter acontecido (Setembro de 2012) estas serem as primeiras chuvas que se procederam (Outubro de 2012). Thomas *et al.* (2000b) observou no seu estudo que existe uma maior mobilização de nutrientes em encostas queimadas do que não queimadas, facto este que aliado às primeiras chuvas após incêndio fez com que houvesse uma maior disponibilidade de nutrientes no início do estudo (no pós-fogo) e as perdas assim fossem maiores. O que é demonstrado por Ferreira *et al.* (2005) no seu estudo no período de 14 meses após o incêndio e por Thomas *et al.* (2000a, 2000b) no

segundo e terceiro ano de estudo, os resultados obtidos nestes estudo mostram que existe uma maior perda nos meses que sucedem o incêndio.

2.6.1.4 FATORES QUE INFLUENCIAM A PERDA DE NUTRIENTES

Vários fatores podem influenciar a perda de nutrientes, os que foram estudados neste estudo foram: precipitação, escorrência e perda de sedimentos e I30.

A variação temporal da precipitação, representada nos gráficos das Figuras 10 e 11, mostram que a precipitação tem influência nas perdas de NT e PT. No caso do NT, observa-se que a grandes picos de precipitação correspondem os maiores picos de perdas. No entanto, nem sempre esta relação se verifica. Também é de notar que a resposta à precipitação é mais evidente na área multi-fogos, não sendo a área uni-fogo tão influenciada pela precipitação, pode estar relacionado com o facto de a área multi-fogos, por ter estado sujeita a mais incêndios, sofrer mais erosão, não ter tanto material vegetal (caruma) no solo, e ter mais escorrência superficial.

Mais uma vez se verifica que os nutrientes após o incêndio se tornam mais disponíveis e se perdem com mais facilidade. Apesar do primeiro evento de precipitação não ter sido muito grande, foi onde houve das maiores perdas na área multi-fogos, o que sugere que não foi preciso muita chuva para que a perda ocorresse.

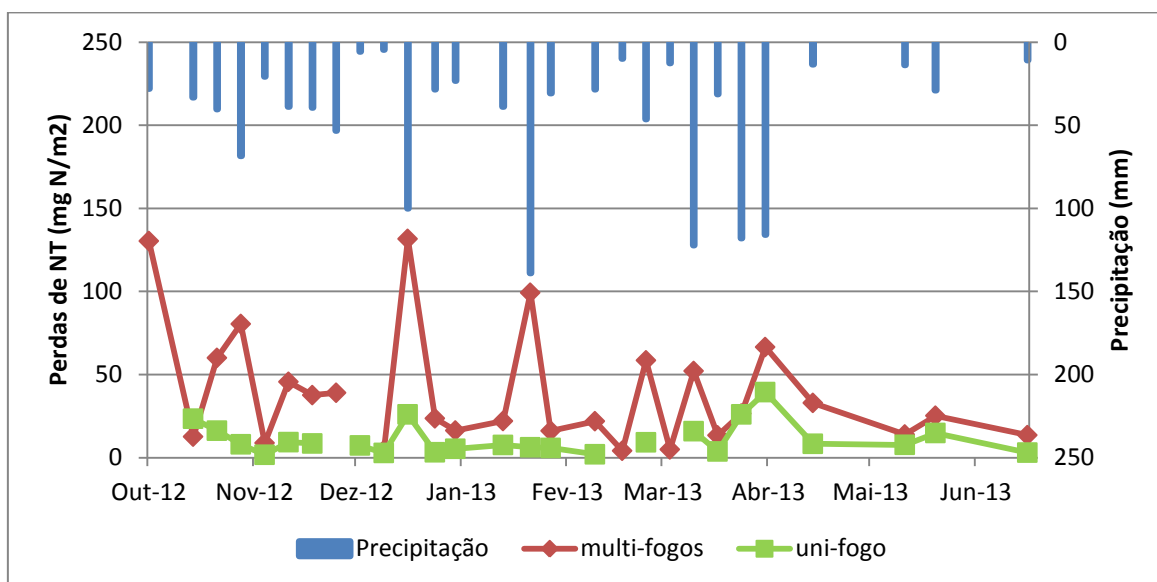


Figura 10 - Evolução temporal da precipitação e perdas de NT

Nas perdas de PT não é tão evidente que a precipitação seja o fator mais influente. No entanto é de notar que a valores mais altos de precipitação correspondem aumentos nas perdas, embora não muito pronunciadas. Este comportamento é, à semelhança do NT, mais evidenciado na área multi-fogos e não tanto na uni-fogo.

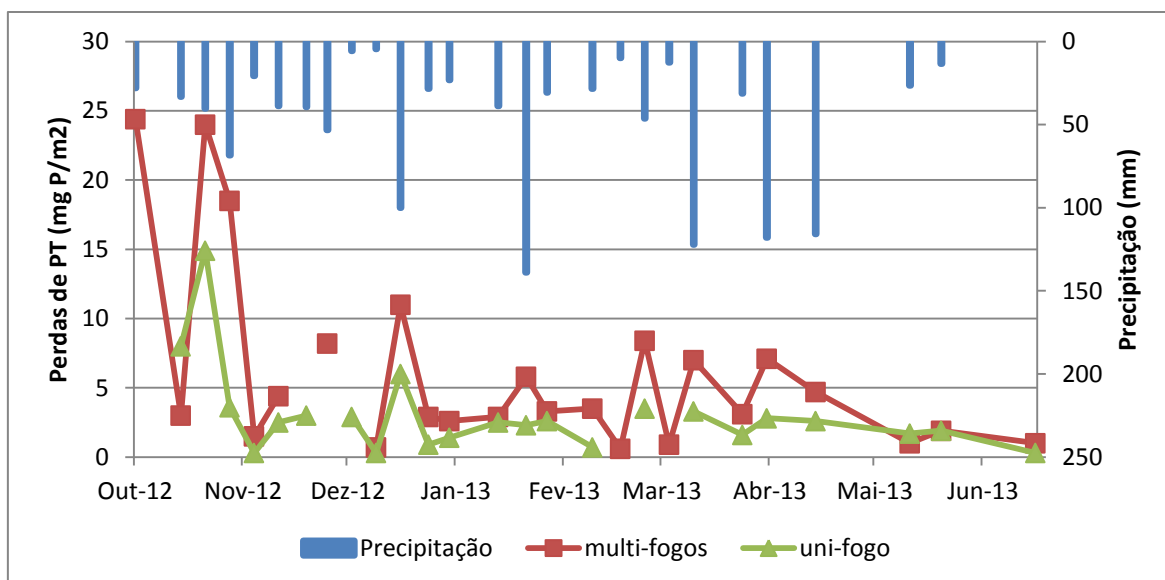


Figura 11 - Evolução temporal da precipitação e perdas de PT

Estes resultados podem estar associados à camada superficial de cinzas rica em nutrientes, que é facilmente erodida e por isso é arrastada de modo preferencial pela escorrência nestes primeiros eventos de precipitação.

A perda de sedimentos está relacionada com a precipitação no gráfico da Figura 12 e é de notar que existe uma perda de sedimentos maior na área multi-fogos que na uni-fogo. No entanto o comportamento nas duas áreas é semelhante ao longo do período de estudo. Esta tendência pode ser explicada em parte por a variação da precipitação. Quando existem picos de precipitação é onde a perda de sedimentos é maior também, porém não na mesma proporção. As perdas de sedimentos não seguem exatamente o comportamentos das perdas de nutrientes, sendo que as maiores perdas de sedimentos se dão no término do estudo (Abril a Junho), enquanto as de nutrientes ocorrem mais intensamente no início. Sugere assim que apesar de existir perdas de nutrientes na forma particulada, existe também uma forte percentagem de forma dissolvida nas amostras analisadas que foram nas formas totais. Os dados disponíveis em Lane *et al.* (2008) e Smith *et al.* (2011) sugerem que a fracção associada à partícula pode dominar as

exportações de N em 69% e P entre 77-94% durante eventos de tempestade no primeiro ano após o fogo, o que é não vai totalmente de encontro com o que se passou no presente estudo já que os comportamentos de perdas de nutrientes e perdas de sedimentos não são muito semelhantes. Ainda sobre as perdas de sedimentos é de salientar que Smith *et al.* (2011) afirmaram que a contribuição das formas particuladas de N e P é passível de diminuir com o tempo já que após o fogo existe uma recuperação da vegetação, o que vai reduzir as taxas de erosão e escoamento levando a um declínio na perda de sedimentos. O que pode ser de esperar para o ano seguinte ao período que esta dissertação contempla.

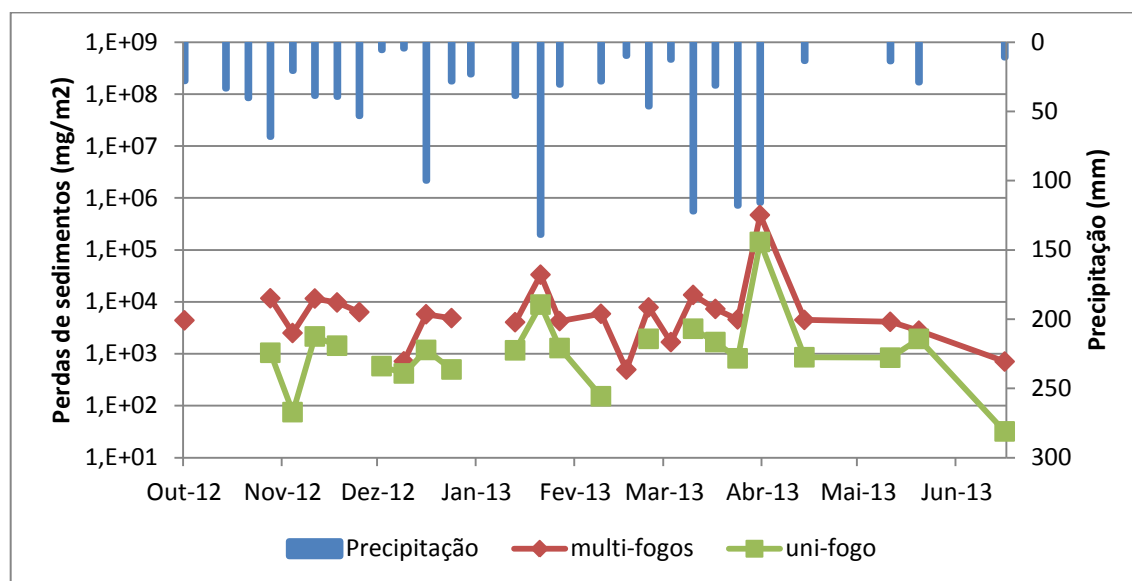


Figura 12 - Evolução temporal das perdas de sedimentos e precipitação

A escorrência por outro lado segue as tendências da precipitação, isto é, quando existe aumento da precipitação existe também um aumento da escorrência. Está representada esta evolução temporal da escorrência e precipitação na Figura 13. Observa-se que em ambas as áreas de estudo se pode observar que o comportamento é semelhante, contudo na área multi-fogos os valores são de ordem superior que na uni-fogo. A área que tem mais episódios de fogo sofre mais escorrência e é mais vulnerável a episódios de precipitação. Tal resultado evidencia que a frequência de fogo a que uma determinada área está sujeita vai influenciar a escorrência superficial, aumentando-a. Segundo vários estudos (Coelho *et al.*, 2004; Ferreira *et al.*, 2005), quando um ecossistema florestal está sujeito a incêndios verifica-se um aumento da taxa de escorrência, quando comparado a uma área não queimada. São vários os fenómenos e processos que podem explicar estes elevados valores de escorrência. Cerdà e Doerr (2005) aludem à possível

ocorrência de uma redução da hidrofobia e um aumento na capacidade de infiltração no solo, após incêndios florestais severos no seguimento de períodos secos, onde a hidrofobia é elevada, o que vai de acordo ao encontrado por Varela *et al.* (2005) que indicaram que para áreas não ardidas, onde os solos apresentem uma repelência à água severa, o fogo irá provocar uma diminuição dos valores de repelência à água. Uma explicação para esta diminuição é dada por Doerr *et al.* (2006), que indicam que existe uma diminuição da repelência à água após fogo, na camada superior mas um aumento desta nas camadas mais profundas. Por outro lado, Shakesby e Doerr (2006) apontam que durante o fogo existe a volatilização das substâncias orgânicas hidrofóbicas na camada de solo superficial, o que vai criar nesta camada um gradiente de pressão fazendo com que uma fração desta matéria escape para a atmosfera, seja transportada ao longo da encosta até esta condensar ou seja transferida para as camadas mais profundas do solo, fazendo assim com que a camada superior tenha uma diminuição da hidrofobia. Em combinação com o revestimento de uma camada de cinzas após fogo, de acordo com Cerdà e Doerr (2008) o solo apresenta elevada capacidade de infiltração e uma escorrência superficial reduzida. Estes processos combinados sugerem uma explicação para este comportamento após incêndio, sendo este quebrado no primeiro evento de precipitação que seja suficientemente elevado para saturar o solo e dar início a uma maior taxa de escorrência superficial.

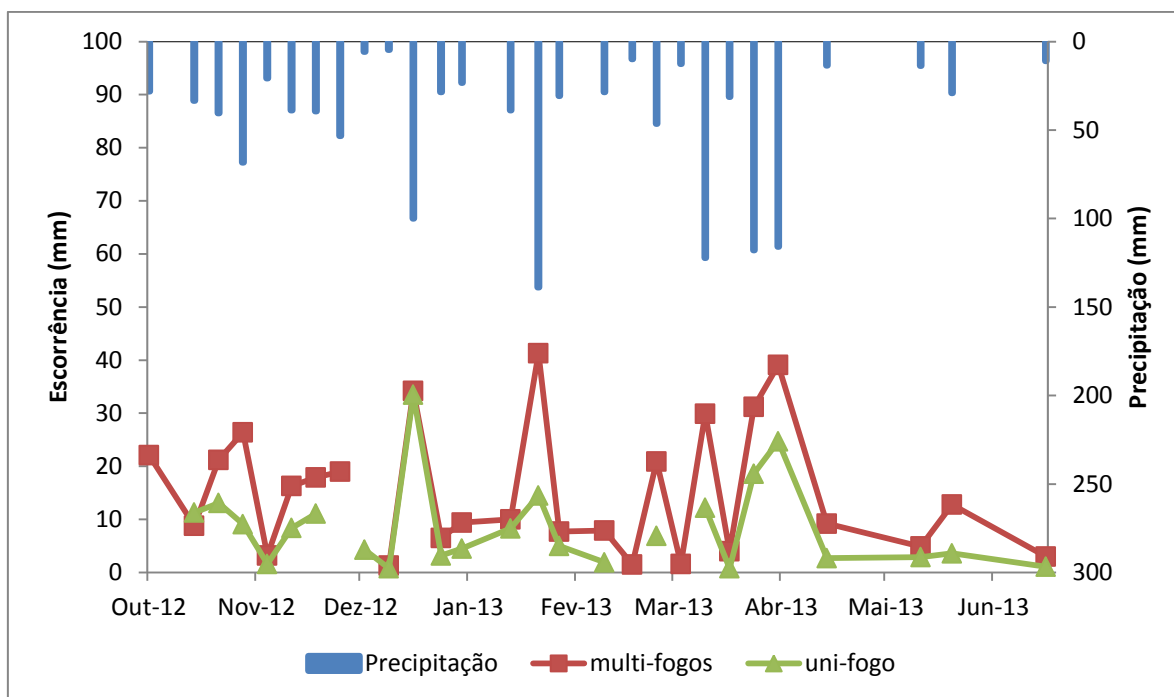


Figura 13 – Evolução temporal da escurência e precipitação

O parâmetro I30 é a intensidade máxima em 30 minutos de precipitação, está geralmente associado a grandes eventos de precipitação. Esta tendência observa-se quando há um aumento nos valores de precipitação corresponde a um aumento também do I30 (Figura 14).

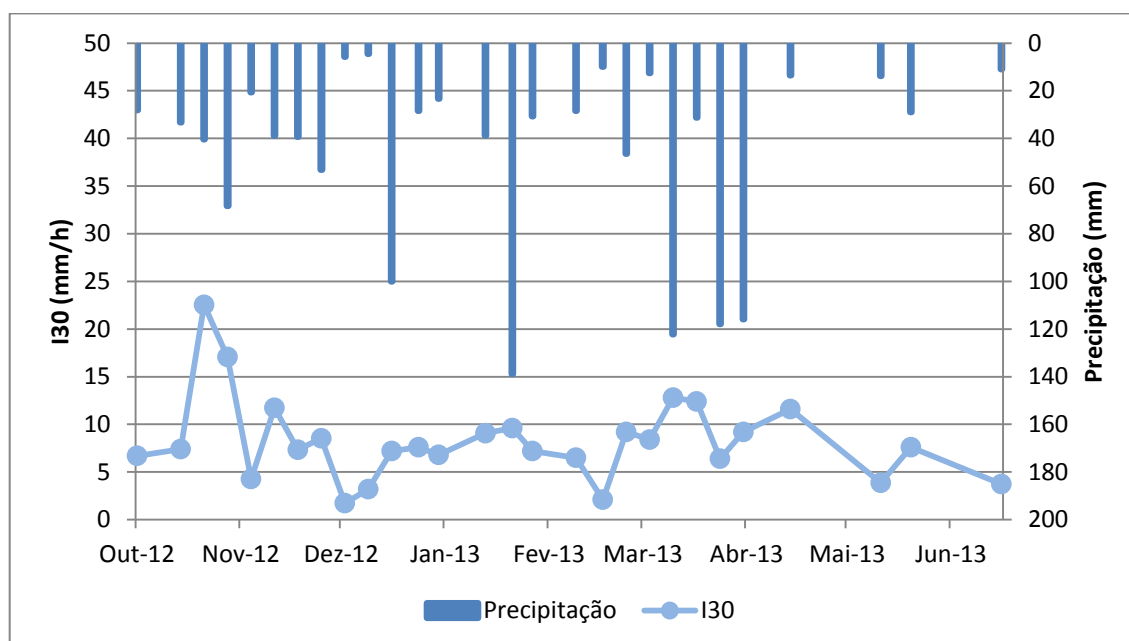


Figura 14 - Evolução temporal da intensidade máxima em 30 minutos e da precipitação

Neste capítulo pode dizer-se que se confirmou que as perdas de nutrientes aumentam, no geral, com o aumento dos volumes de escorrência amostrados, os quais aumentam com o incremento da precipitação e sua intensidade. Contudo, analisando ao pormenor, verifica-se que a geração de escorrência sempre e de forma linear aos eventos de precipitação, existindo situações em que eventos de precipitação e de intensidade máxima mais baixos geram coeficientes de escorrência mais elevados. Esta situação pode estar relacionada com as características hidrofóbicas do solo, comum em solos com plantações de eucalipto e pinheiro no litoral norte e centro do país. A presença da hidrofobia no solo leva à redução da capacidade de infiltração e ao aumento da escorrência superficial (Ferreira *et al.*, 2000), no entanto como no caso em estudo são áreas ardidas a hidrofobia do solo só se verifica quando há alteração das propriedades do solo. Segundo Faria (2008) a predominância de um maior grau de repelência à água nos solos queimados do que nos não queimados sugere que o incêndio teve influência nas propriedades do solo.

2.6.2 VARIAÇÃO ESPACIAL DA MOBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES

Como no estudo Gimeno-García *et. al.* (2007) a cobertura vegetal tem vindo a ser estudada e considerada como um fator chave na existência de escoamento superficial e proteção contra a erosão, com a presença da vegetação aumenta também a infiltração e a rugosidade da superfície, e ainda reduz o impacto cinético das gotas de chuva.

Nesta secção pretende-se avaliar a variação das perdas totais de nutrientes nas diferentes áreas quanto às diferenças entre as microparcelas com e sem arbusto. Assim, nas Figuras 15 e 16 estão representas as variações das perdas de NT e PT respetivamente nas várias encostas da área em microparcelas com arbusto e sem arbusto. É possível notar que as maiores perdas de N foram encontradas nas microparcelas sem arbusto, facto este que se intensifica nas áreas multi-fogo, com diferenças maiores visíveis na Figura 15. Com o valor máximo de perdas de azoto atingido na área multi-fogos, encosta 2 e correspondendo a 3498,5 mg N/m² e no caso do fósforo igualmente na mesma encosta mas com um valor máximo de 515,9 mg P/m². No entanto há também perdas que foram superiores em microparcelas com arbusto, em algumas áreas, em principal incidência nas áreas uni-fogo sendo as diferenças pequenas em relação a microparcelas sem arbusto. No caso particular das áreas em que as perdas

são maiores em microparcelas com arbusto, este fenómeno ocorre para os ambos os nutrientes, tanto N como P.

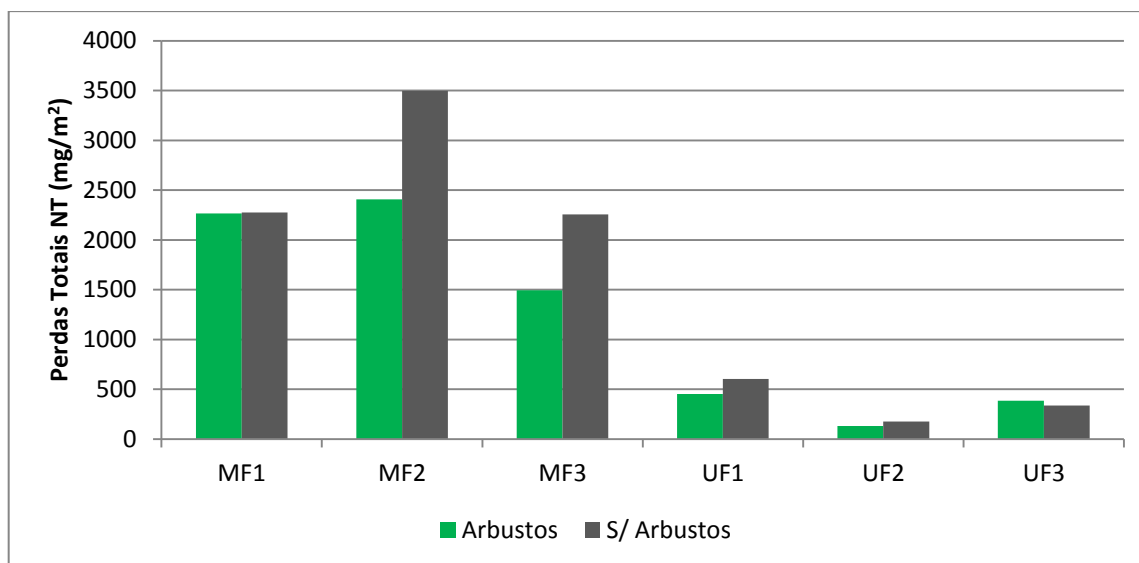


Figura 15 – Perdas totais de NT nas microparcelas com ou sem presença de arbusto nas diferentes áreas de estudo

O gráfico da Figura 16 sugere que as perdas totais de PT foram essencialmente na área multi-fogos nas microparcelas sem arbusto. No entanto foram registadas perdas superiores de fósforo na encosta 3 da área uni-fogo em microparcelas com arbusto. Foi nesta mesma encosta que se verificou que para ambos os nutrientes as perdas foram maiores em amostras recolhidas nas microparcelas com a presença de arbusto.

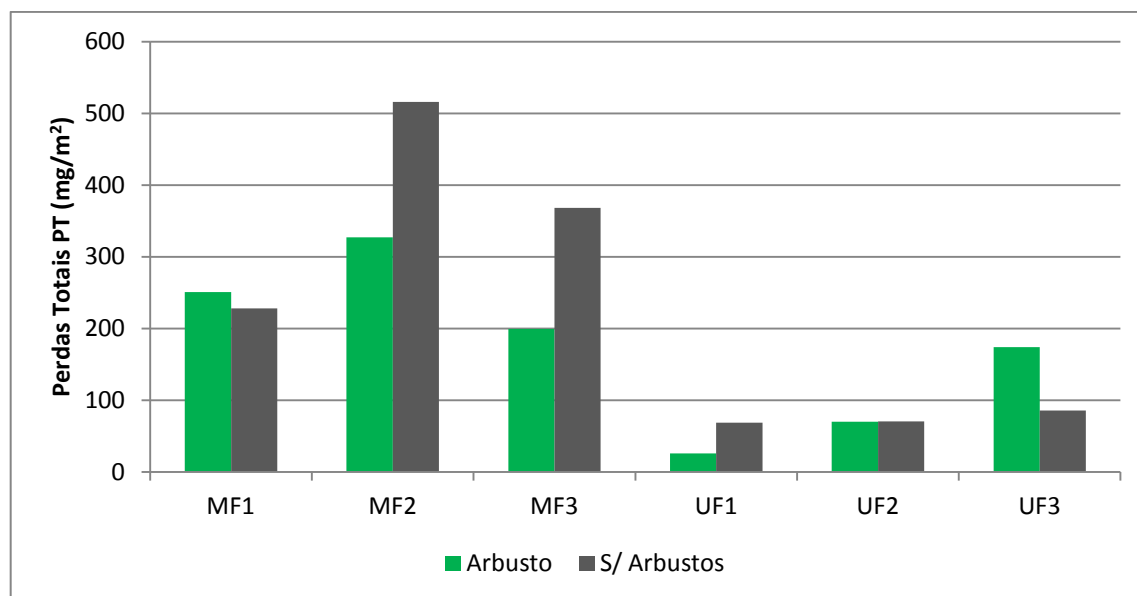


Figura 16 – Perdas totais de PT nas microparcelas com ou sem presença de arbusto nas diferentes áreas de estudo

Estas diferenças entre microparcelas com arbusto e sem arbusto demonstram a importância da vegetação na proteção e conservação dos nutrientes em áreas áridas. Prats *et al.* (2012) defende que os cobertos vegetais em áreas áridas podem servir como “tratamento” podendo diminuir a escorrência e a perda de sedimentos significativamente. Apesar de nesta dissertação não ser explorada a vertente de tratamento em microparcelas, é de notar que a cobertura vegetal dada pelo arbusto existente em algumas microparcelas fez diferença na perda de nutrientes.

Nas perdas totais de sedimentos nas microparcelas as diferenças entre microparcelas com e sem arbusto foram também evidentes em algumas das encostas das áreas (Figura 17). Sendo que as diferenças foram mais evidentes na área multi-fogos. A encosta 2 da área multi-fogos foi onde existiram maiores perdas e foi nas microparcelas sem arbusto desta encosta que se obteve os valores mais elevados. Na área uni-fogo existiu uma maior perda de sedimentos nas microparcelas da encosta 3 e em microparcelas sem arbusto.

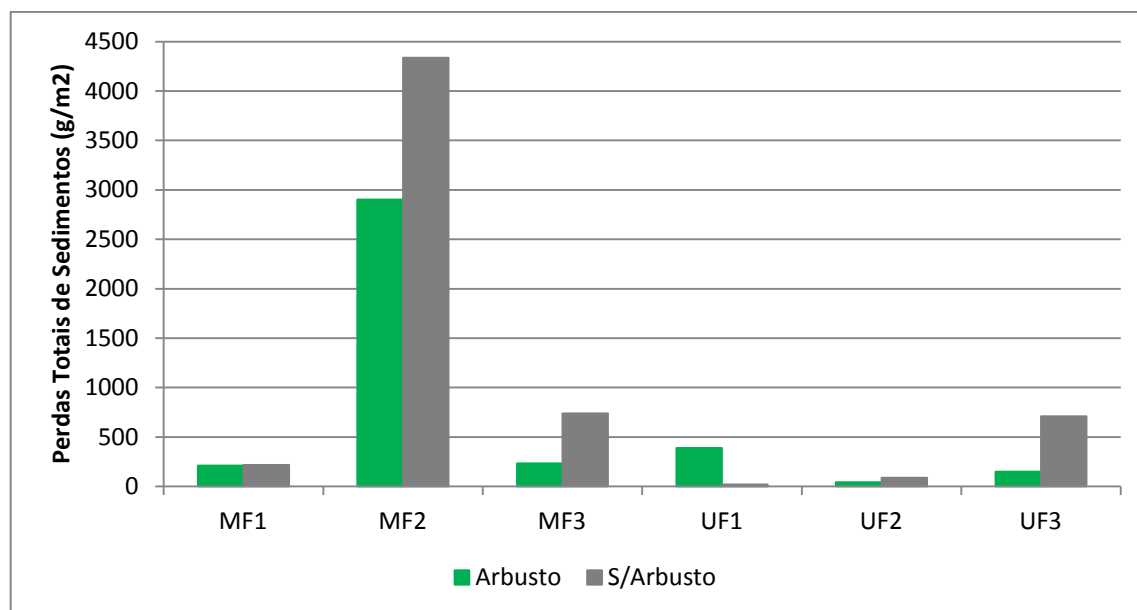


Figura 17 – Perdas totais de sedimentos nas microparcelas com ou sem presença de arbusto nas diferentes áreas de estudo

É ainda de salientar que durante o período de estudo existiram alterações na parte arbustiva das áreas. Nomeadamente ocorreu crescimento de alguns arbustos tendo aumentado de volume e por outro lado também outros desapareceram com a sua morte. Este facto é decerto relevante nos resultados obtidos.

2.7 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos pode concluir-se que as diferenças entre as áreas multi-fogos e uni-fogo são evidentes, tanto quanto a mobilização de nutrientes, que era o foco principal de estudo, como em outros parâmetros como perdas de sedimentos e escorrência. O fogo é sem dúvida um acontecimento que altera muito um ecossistema florestal, apesar de ser um elemento presente nos ecossistemas do Mediterrâneo é a severidade e frequência com que o fogo lavra é que provocará as consequências devastadoras que se observam.

Neste estudo a frequência de incêndios é a principal razão para todas as alterações e diferenças registadas nas duas áreas. Na área multi-fogos que esteve sujeita a quatro incêndios a exportação de nutrientes foi muito maior que na área sujeita a um único fogo. O NT foi mais mobilizado que o PT. Também foi evidente que as maiores perdas de sedimentos e os maiores valores de escorrência se verificaram onde houve mais incêndios.

Observou-se que o aumento da exportação de nutrientes, entre amostragens, está associado a grandes eventos de precipitação, a escorrência também aumenta com o aumento da precipitação bem como a perda de sedimentos também se acentua, sendo que todos os valores são superiores na área multi-fogos. Esta perda de sedimentos demonstra que além de existir erosão nas encostas, esta erosão aumenta com o número de fogos. Tais resultados podem estar relacionados ainda com elevadas condições de humidade do solo e consequente saturação, ou ainda com condições de humidade do solo muito baixas onde as características hidrofóbicas se manifestam.

Avaliando as parcelas com arbusto e as parcelas sem arbusto é conclusivo que a vegetação tem importância nas perdas de nutrientes e nas perdas de sedimentos. Foi evidente na maioria das encostas que quando a vegetação é inexistente na parcela, as perdas são maiores. Bem como foi nas encostas das áreas multi-fogos que as diferenças foram maiores entre microparcelas com e sem arbusto. A principal diferença entre a área multi-fogos e uni-fogo quanto a material presente no solo, prende-se ao facto da área uni-fogo ter uma vegetação arbórea com um desenvolvimento maior antes do incêndio de 2012. Devido ao tempo que a área uni-fogo esteve sem sofrer incêndios, os pinheiros desta área tiveram tempo de crescer, assim depois do incêndio existiu mais material como a caruma e outros materiais de origem vegetal, que foram libertados e que se alojaram no solo, havendo assim uma “proteção” à erosão que foi menor ou mesmo inexistente na área multi-fogos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo da presente dissertação foi quantificar as taxas de exportação de azoto e fósforo, nas formas totais (particulada e dissolvida), numa área florestal com diferentes áreas com histórico de incêndios diversos, através da escorrência superficial, à escala de microparcela e quanto à presença ou ausência de arbusto nas microparcelas.

No pós-incêndio, um ecossistema florestal sofre várias alterações tanto a nível do solo como consequentemente a nível dos nutrientes, erosão, vegetação, etc. No estudo foi demonstrado que a perda de nutrientes está associada a este fenómeno que ocorre com cada vez mais frequência nos ecossistemas do mediterrâneo. Vários estudos foram feitos nestes ecossistemas florestais do mediterrâneo como por exemplo em González-Pelayo *et al.* (2010), Gimeno-García *et al.* (2007), Thomas *et al.* (1999, 2000a, 2000b), Ferreira *et al.* (2005) ou Shakesby *et al.* (2013) com o objetivo de perceber a influência dos fogos florestais. No presente estudo esta perda pode dar-se por vários processos como é referido em vários estudos, alguns já referidos anteriormente. Pode ser através da combustão da vegetação e da camada superficial que atua como proteção do solo contra os processos erosivos da chuva e da escorrência. Esta remoção aumenta assim a perda de nutrientes tanto na forma solúvel, associada à escorrência, como na forma permutável e fixa adjacente à perda dos sedimentos. A incineração desta vegetação vai induzir a formação de uma camada de cinzas, esta camada vai revestir o solo tornando-o mais rico em nutrientes, mas também mais suscetível a serem estes nutrientes, que seriam de lenta libertação, mais facilmente mobilizados e perdidos por erosão (Thomas *et al.*, 1999). Existindo cinzas estas vão, logo que exista um evento de pluviosidade, capaz de exceder o seu limite de capacidade de infiltração, começar a perder-se por o processo de escorrência, onde as águas arrastam consigo nutrientes (Ferreira *et al.*, 2005). Nesta dissertação não foi conclusiva a ligação entre a perda de nutrientes e a perda de sedimentos, pelo que deveria ser feito um estudo da fração dissolvida e particulada em separado, para perceber de que forma os nutrientes sofrem mais perdas. No entanto, neste estudo pode concluir-se que estes processos são potenciados quando é aumentada a frequência de fogo. Assim, a área aqui estudada que ardeu mais vezes possuiu valores de exportação de nutrientes e sedimentos mais elevados. Na origem deste fenómeno, além da diferença nas frequências de fogo pode considerar-se que a capacidade regeneração da vegetação foi de grande importância.

Sugere-se de seguida que, para futuros trabalhos:

Exista um estudo da entrada de nutrientes por deposição húmida (precipitação) e a determinação das perdas de nutrientes nas suas diferentes formas, para compreender melhor como estas ocorrem;

Estudar não só o azoto e fósforo mas alargar a outros nutrientes também de elevada importância;

O estudo pormenorizado dos nutrientes no solo;

O estudo ser alargado a mais anos após o incêndio;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association.
- Attiwill, P.M., Adams, M.A. (1993). Nutrient cycling in forests. *New Phytologist* 124, 561-582.
- Bormann, F.H., Likens, G.E. (1967). Nutrient cycling. *Science* 155, 424-429.
- Cerdà, A., Doerr, S. H. (2005). The influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: an eleven-year research. *International Journal of Wildland Fire* 14, 423-437.
- Cerdà, A., Doerr, S. H. (2008). The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. *Catena* 74, 256–263.
- Coelho, C.O.A., Ferreira, A.J.D., Boulet, A.K., Keizer, J.J. (2004). Overland flow generation processes, erosion yields and solute loss following different intensity fires. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrology* 37, 233-240.
- Costa, J.B. (2004). Caracterização e Constituição do Solo. Fundação Calouste Gulbenkian, 5ª edição, Lisboa.
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Blake, W. H., Chafer, C. J., Humphreys, G. S., Wallbrink, P. J. (2006). Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology* 319, 295–311.
- Faria, S.R.M. (2008). Repelência à água em Solos Florestais queimados e não queimados na região Centro. Aveiro : Universidade de Aveiro. Tese de Mestrado
- Fernández, C., Vega, J. A., Fonturbel, T. (2011). Water Yield And Nutrient Losses Via Streamflow After A High-Intensity Wildfire In A Small E. Globulus Watershed: Managed Forests In Future Landscapes Implications For Water And Carbon Cycles. Santiago de Compostela, Spain.
- Ferreira, A.J.D. (1996). Processos hidrológicos e hidroquímicos em povoamentos de Eucalyptus globulus Labill e Pinus Pinaster Aiton. Aveiro : Universidade de Aveiro. Tese de Doutoramento.
- Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Walsh, R.P.D., Shakesby, R.A., Ceballos, A., Doerr, S.H. (2000). Hydrological implications of soil water-repellency in Eucalyptus globulus forests, north-central Portugal. *Journal of Hydrology* 231-232, 165–177.
- Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Boulet, A.K., Lopes, F.P. (2005). Temporal patterns of solutes loss following wildfires in central Portugal. *International Journal of Wildland Fire* 14, 401-412.
- Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Ritsema, C.J., Boulet, A.K., Keizer, J.J. (2008). Soil and water degradation processes in burned areas : Lessons learned from a nested approach. *Catena* 74, 273-285.
- Gimeno-García, E., Andreu, V., Rubio, J.L. (2000). Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *European Journal of Soil Science* 51, 201-210.
- Gimeno-García, E., Andreu, V., Rubio, J.L. (2007). Influence of vegetation recovery on water erosion at short and medium-term after experimental fires in a Mediterranean shrubland. *Catena* 69, 150-160.

González-Pelayo, O., Andreu, V., Gimeno-García, E., Campo, J., Rubio, J.L. (2010). Rainfall influence on plot-scale runoff and soil loss from repeated burning in a Mediterranean-shrub ecosystem, Valencia, Spain. *Geomorphology* 118, 444–452.

ICNF (2006). *Estratégia Nacional para as Florestas*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.

ICNF (2013). IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares. [pdf] 34pp, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, Lisboa.

ICNF (s.d.). Incêndios Florestais – Portugal – Totais nacionais. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Visto em : 12 de Novembro de 2012, em : <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/estatisticas> .

Inbar, M., Tamir, M., Wittenberg, L. (1998). Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. *Geomorphology* 24, 17-33.

IPMA (2013). Normais climatológicas. Instituto Português do Mar e da Terra. Visto em : 18 de Abril de 2013, em : <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/> .

Lane, P.N.J., Sheridan, G.J., Noske, P.J., Sherwin, C.B. (2008). Phosphorus and nitrogen exports from SE Australian forests following wildfire. *Journal of Hydrology* 361, 186-198.

Marino, E., Mercedes, G., Hernando, C., Madrigal, J., Díez, C. (2011). Fire hazard after prescribed burning in a gorse shrubland: Implications for fuel management. *Journal of Environmental Management* 92, 1003-1011.

Moreira, F., Catry, F.X., Silva, J.S., Rego, F. (2010). *Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas*. ISAPress, Lisboa. ISBN: 9789728669485.

Neary, D.G., Ryan, K.C., DeBano, L.F. (2005). Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on soil and water. General Technical Report, vol. 4. Rocky Mountain Research Station, Forest Service, USDA, Fort Collins, Colorado. RMRS-GTR-42, Washington DC.

Prats, S.A., MacDonald, L.H., Monteiro, M., Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Keizer, J.J. (2012). Effectiveness of forest residue mulching in reducing post-fire runoff and erosion in a pine and a eucalypt plantation in north-central Portugal. *Geoderma*.

Raison, J.R., Khann, P.K., Jacobsen, K.L.S. (2009). Effects of fire on forest nutrient cycles. Em: Cerdá, A., Robichaud, P.R., eds. *Fire effects on soils and restoration strategies*. Enfield, NH: Science Publishers: 225-256.

Rodríguez-Blanco, M.L., Castro, M.M.T., Castro, M.T.T., Mota, J.L.O. (2009). Nutrient Dynamics during storm events in an Agroforestry catchment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40, 889-900.

Shakesby, R.A., Doerr, S.H. (2006). Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews* 74, 269-307.

Shakesby, R.A., Bento, C.P.M., Ferreira, C.S.S., Ferreira, A.J.D., Stoof, C.R., Urbanek, E., Walsh, R.P.D. (2013). Impacts of prescribed fire on soil loss and soil quality: An assessment based on an experimentally-burned catchment in central Portugal. *Catena*.

Smith, H.G., Sheridan, G.J., Lane, P.N.J., Nyman, P., Haydon, S. (2011). Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *Journal of Hydrology* 396, 170-192.

SNIRH (2013). Boletim de Precipitação. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Visto em: 18 de Abril de 2012, em: <http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.1> .

Thomas, A.D., Walsh, R.P.D., Shakesby, R.A. (1999). Nutrient losses in eroded sediment after fire in eucalyptus and pine forests in the wet Mediterranean environment of northern Portugal. *Catena* 36, 283-302.

Thomas, A.D., Walsh, R.P.D., Shakesby, R.A. (2000a). Post-fire forestry management and nutrient losses in eucalyptus and pine plantations, northern Portugal. *Land Degradation & Development* 11, 257-271.

Thomas, A.D., Walsh, R.P.D., Shakesby, R.A. (2000b). Solutes in overland flow following fire in eucalyptus and pine forests, northern Portugal. *Hydrological Processes* 14, 971-985.

Varela, M. E., Benito, E., E., d. B. (2005). Impact of wildfires on surface water repellency in soils of northwest Spain. . *Hydrological Processes* 19, 3649-3657.

Varenes, A. (2003). *Produtividade dos solos e ambiente*. Escolar editora.